

APROVECHAMIENTO DE RECURSOS PESQUEROS



GONZALO VELÁZQUEZ DE LA CRUZ
JOSÉ ALBERTO RAMÍREZ DE LEÓN
(COORDINADORES)



Aprovechamiento de recursos pesqueros

Gonzalo Velázquez de la Cruz
José Alberto Ramírez de León
(coordinadores)



Primera edición: agosto de 2011

- © Gonzalo Velázquez de la Cruz,
José Alberto Ramírez de León (coordinadores)
- © Universidad Autónoma de Tamaulipas
- © Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa-Aztlán
- © Consejo Tamaulipeco de Ciencia y Tecnología
- © Fondo Mixto de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica
- © Plaza y Valdés S. A. de C. V.
Manuel María Contreras 73. Colonia San Rafael
México, D. F. 06470. Teléfono: 5097 20 70
editorial@plazayvaldes.com
www.plazayvaldes.com

Plaza y Valdés Editores
Calle Murcia, 2. Colonia de los Ángeles
Pozuelo de Alarcón 28223, Madrid, España
Teléfono: v 91 862 52 89
madrid@plazayvaldes.com
www.plazayvaldes.es

ISBN: 978-607-402-269-8

Impreso en México / *Printed in Mexico*

A
Deyanira e Itzel

Agradecimientos

Al Fondo Mixto de Fomento a la Investigación Científica y
Tecnológica Conacyt del Gobierno del Estado de Tamaulipas
por el apoyo brindado para la coedición de esta obra.

Índice

Recursos pesqueros	11
<i>Gonzalo Velázquez de la Cruz</i>	
Proteínas y estructura muscular	43
<i>José Alberto Ramírez de León, Virgilio Bocanegra García, Gonzalo Velázquez de la Cruz</i>	
Aditivos utilizados en la industria pesquera	75
<i>Simón Josías Téllez Luis, Virgilio Bocanegra García, Dalia Garza Cruz</i>	
Textura y color en alimentos	93
<i>Manuel Vázquez Vázquez, Rocío M. Uresti Marín, Octelina Castillo Ruiz</i>	
Elaboración de jamón de pescado	115
<i>Geazul Calderón Hernández, José Alberto Ramírez de León, Gonzalo Velázquez de la Cruz</i>	
Ahumado del filete de croca (<i>Micropogonias undulatus</i>)	149
<i>Nathalie Z. Figueroa Rodríguez, Gonzalo Velázquez de la Cruz, José Alberto Ramírez de León</i>	
Elaboración de hueva de lisa ahumada y seco-salada	177
<i>Deborah P. Delgado Aguirre, Simón Josías Téllez Luis, José Alberto Ramírez de León, Gonzalo Velázquez de la Cruz</i>	

Elaboración de alimento para camarón.....	207
<i>Cristavel Pérez Mayo, José Alberto Ramírez de León, Gonzalo Velázquez de la Cruz, Efrén Garza Cano</i>	
Extracción y caracterización de gelatina de piel de pescado	233
<i>Verónica Hernández Robledo, Guadalupe Martínez Tobías, Alfredo del Ángel del Ángel, Nubia Rocío Rodríguez Durán, José Alberto Ramírez de León, Gonzalo Velázquez de la Cruz</i>	

Recursos pesqueros

Gonzalo Velázquez de la Cruz

Peces

Los peces son seres vivos adaptados a la vida acuática. Son vertebrados provistos de aletas para moverse en el agua; su piel está recubierta de escamas y la respiración es branquial. Son animales ectodérmicos (de sangre fría) que obtienen el calor del medio ambiente que los rodea; tienen la columna vertebral de cartilago o de hueso; la mayoría tiene aletas y casi todos tienen escamas que cubren y protegen el cuerpo.

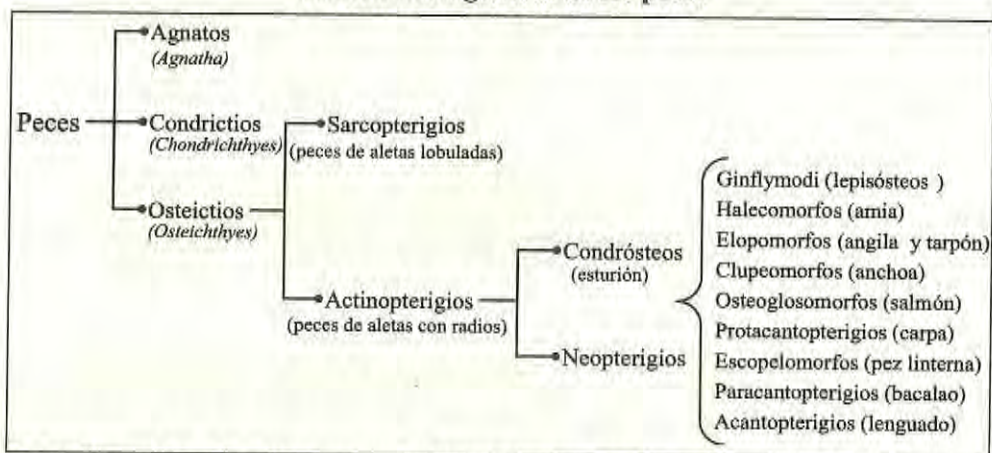
De acuerdo con el medio en que habitan, se dividen en peces de agua salada y peces de agua dulce. Las especies marinas, según el espacio oceánico que ocupan, se clasifican en peces de fondo y peces pelágicos; de acuerdo con la forma del cuerpo, en redondos y planos; se pueden distinguir los siguientes tipos de captura: la pesca de altura, la pesca de bajura y la pesca en aguas interiores.

Existen tres clases de peces: *Agnatha*, *Chondrichthyes* y *Osteichthyes* (figura 1). La más primitiva de las tres clases es la de los peces sin mandíbula, (*Agnatha*). Los tiburones y las mantarrayas, constituyen la clase *Chondrichthyes*. La clase más numerosa es la *Osteichthyes*; los peces de esta clase tienen un esqueleto formado casi totalmente de hueso.

Peces sin mandíbula

Las especies de la clase *Agnatha* que han sobrevivido a la extinción se llaman ciclóstomos. No tienen aletas pareadas, ni escamas ni dientes verdaderos, aunque poseen estructuras parecidas a unos dientes. En medio del hocico tienen una sola

Figura 1
Clasificación general de los peces



Fuente: disponible en <http://riie.com.mx/?a=37288>; consultado en febrero de 2008.

abertura nasal. Igual que todos los peces, los ciclóstomos tienen un corazón de dos cámaras. La reproducción es sexual y las hembras liberan sus huevos al agua donde son fecundados por los espermatozoides.

Peces cartilagosos

Los tiburones y las mantarrayas son de la clase de los *Chondrichthyes*. Ambos tienen esqueletos de cartílago. Las aletas en pares, las escamas y las mandíbulas distinguen a los tiburones y a las mantas de los peces sin maxilar más primitivos. La mayoría de los tiburones son largos y delgados y pueden nadar rápidamente. En general, los tiburones son predadores y se alimentan de peces y otros animales marinos. Las mantarrayas tienen cuerpo aplanado y unas aletas pectorales anchas en forma de alas. En los tiburones y las rayas la reproducción se realiza mediante fecundación interna. Algunas especies son ovíparas y otras especies son ovovivíparas.

Peces óseos

En los peces que pertenecen a la clase *Osteichthyes*, el esqueleto se compone principalmente de hueso. Casi todos tienen escamas y aletas, aunque éstas se encuentran

modificadas en las diferentes especies. Los peces óseos están divididos en dos grupos principales: con aletas radiales y con aletas lobuladas. La mayoría de los peces óseos poseen también una vejiga natatoria, una estructura llena de gases que les ayuda a controlar la flotación en el agua. El grupo de peces con aletas lobuladas está compuesto por seis especies; uno de ellos es el pez con pulmones primitivos que a pesar de que usan sus agallas, también respiran por sus pulmones.

Los peces representan el grupo más numeroso entre los animales vertebrados (42.5%); seguidos por las aves (22.9%); los reptiles (16%); los mamíferos (12%) y por último los anfibios (6.6 por ciento). En la actualidad existen aproximadamente 20 mil especies de peces; 60% de las formas viven en el mar y 40% en las aguas dulces (Damoradan y Paraf, 1997). Los peces y productos derivados constituyen una importante fuente de proteína de alto valor biológico, de grasa y en gran medida, de vitaminas liposolubles.

Morfología de los peces

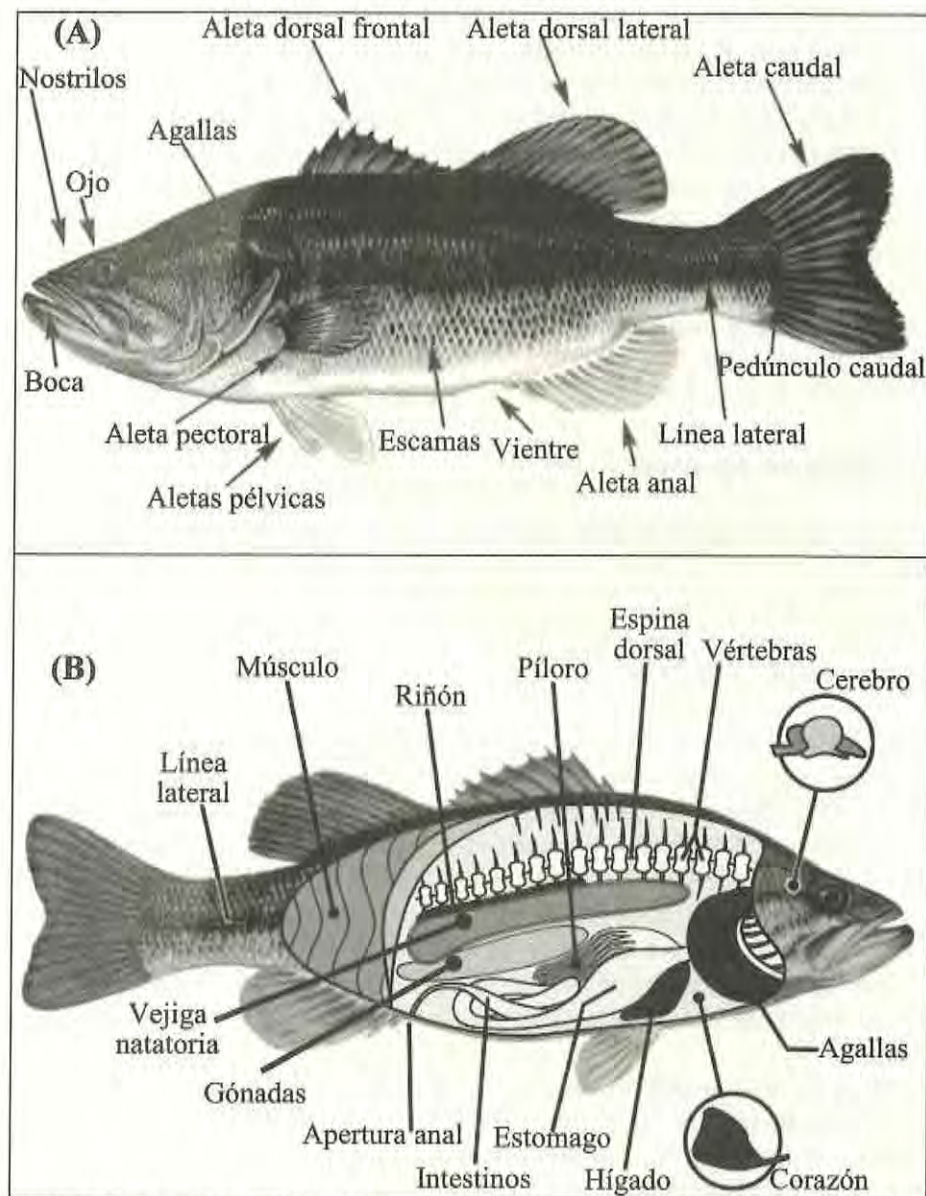
En el esquema representado en la figura 2 se muestra la morfología general de los peces.

Pescado como alimento

El pescado constituye una de las principales fuentes de proteínas en la alimentación del hombre ya que proporciona nutrientes muy importantes que lo han convertido en un consumo tradicional; posee además otros productos de valor comercial para la industria. Este uso tan variado se explica por la diversidad de especies que existen, por las variadas estructuras histológicas y por su composición química. Se conocen más de 12 mil especies que habitan los océanos, mares, ríos y lagos. Sólo aproximadamente 1 500 de esas especies se capturan en cantidad suficiente como para ser consideradas de interés comercial (Ordoñez, 1998). El pescado puede clasificarse en varios grupos de acuerdo a su procedencia: marino, de agua dulce, blanco y azul (Walter, 1995).

El músculo del pescado se puede comparar favorablemente con otros alimentos de origen animal tales como la carne de res, carne de cerdo, el huevo y la leche. Sin embargo desde el punto de vista de su obtención, conservación y procesado, los productos marinos llevan consigo muchos problemas relacionados con la distribución debido a que son más perecederos (Suzuki, 1987).

Figura 2
Anatomía externa (A) e interna (B) de un pez



Fuente: disponible en http://myfwc.com/recreation/fw_anatomy.htm; consultado en febrero de 2008.

El pescado es reconocido como un buen alimento que además proporciona aceites, alimento para el ganado y productos de valor para la industria. Desde el punto de vista nutricional los peces y subproductos derivados constituyen una importante fuente de proteína de alto valor biológico, de grasas insaturadas, sales minerales y en menor medida de vitaminas liposolubles. Su aporte calórico no es elevado (tabla 1) debido a su contenido medio-bajo en grasa que por lo general no es mayor a 7%; se ha demostrado que las grasas insaturadas contenidas en el pescado tienen un efecto beneficioso sobre la salud, ya que reducen los riesgos de ataques al corazón y la arteriosclerosis (Madrid y Vicente, 1999). El valor biológico de la proteína es equivalente al de la carne de los animales de sangre caliente. La cantidad de proteína cruda en el pescado varía de 17 a 20% y el contenido de grasa y agua oscilan dentro de amplios límites. Existen peces magros con un contenido de grasa del 0.1 a 1.3% (bacalao); peces grasos (anguila, arenque, atún) con un contenido en grasa del 16 a 26% y peces con un contenido medio de grasa.

El contenido de nitrógeno proteico en el músculo del pescado es del 2-3 por ciento. Atendiendo a su composición en aminoácidos, comparada con la carne de res y la caseína, se considera una proteína de alto valor biológico. Las proteínas del sistema contráctil representan aproximadamente 75% y las del tejido conjuntivo entre 3% en peces teleósteos y 10% en peces cartilaginosos como el tiburón y la mantarraya.

Tabla 1
Aporte calórico de diversos peces y productos derivados

<i>Producto</i>	<i>Aporte calórico</i>	
	<i>Kcal/100 g</i>	<i>KJ/100 g</i>
Bacalao	80	340
Sardina	135	563
Pez espada	125	530
Lenguado	90	377
Atún	240	1010
Ballena	135	562
Trucha	110	465
Carpa	125	522
Salmón	218	908

Fuente: Madrid y Vicente, 1999.

La pesca en Tamaulipas

México se encuentra entre los primeros 20 países en producción pesquera, con cerca de 1.4 millones de toneladas anuales que representan 1.5% de la captura mundial. El sector pesquero aporta alrededor del 0.7% del PIB nacional y emplea cerca del 1.3% de la población activa. Casi dos tercios de la producción proviene de cuatro estados: Sonora, Sinaloa, Baja California Norte y Baja California Sur.¹ Aunque la actividad pesquera en México tiene un amplio margen de crecimiento económico, sus recursos no tienen un procesamiento adecuado que permita darles valor agregado y comercializarse como lo hacen otros países sobre la base de especies similares. El posible valor agregado (extracción de aceites, aminoácidos, aislados proteicos, entre otros) a los productos pesqueros de las especies tradicionales podría disminuir el esfuerzo pesquero en las mismas y reducir el impacto negativo en la biodiversidad marina.

La pesca en Tamaulipas tiene un importante potencial al contar para su desarrollo con 420 km de litoral, lo cual representa 8 763 km² de mar territorial; poco más de 95 mil hectáreas de superficie en 140 embalses de agua dulce, lo que representa 3.3% de las aguas interiores del país y 231 mil hectáreas en ocho lagunas costeras para el desarrollo de la pesca en la entidad.²

La pesca en Tamaulipas es una actividad económica muy importante; el camarón ocupa el primer lugar en captura del volumen total de la pesca con 28%; la captura de la lisa representa el segundo producto de importancia para el estado con 12% del total (Ramírez de León y otros, 2006).

A nivel nacional, Tamaulipas se ubica en la región de más alto desarrollo pesquero disponiendo de un área abundante en recursos; ahí se capturan regularmente más de 30 especies, aunque también se observa que los productos pesqueros no se hallan dentro de los componentes básicos de la dieta nacional y que la industria pesquera continúa sin diversificar sus líneas de proceso, concretándose en su mayor parte al pescado congelado, al camarón, a los enlatados y a la reducción de la sardina (Ramírez de León y otros, 2006).

La producción de camarón representa 45% del volumen de producción y 85% del valor total, que junto con el ostión, la lisa y la jaiba, son los principales productos pesqueros de Tamaulipas. Otros recursos generados en los municipios costeros son el ostión, la jaiba y las especies de escama en general; siendo los principales productores Aldama, Matamoros, San Fernando y Tampico. Además cuenta con una

¹ Disponible en www.cibnor.mx; consultado en mayo de 2008.

² Gobierno de Tamaulipas, disponible en <http://www.tamaulipas.gob.mx/tamaulipas/seconomico/pesca>; consultado en mayo de 2008.

flota pesquera de 285 embarcaciones dedicadas a la pesca de altura, de las cuales 265 embarcaciones son camaroneras de altamar, a las que se les considera las más modernas del Golfo de México. Por otro lado se tienen 4 525 embarcaciones para pesca ribereña. En la tabla 2 se muestra la producción de las principales especies y en la tabla 3 se muestran el volumen y el valor económico de la producción. En términos generales, el volumen de producción del camarón representa 38%; lisa 8%; jaiba 6%; tilapia 15% y ostión 6%; con respecto al valor económico total, el camarón aporta 28%; lisa 5%; jaiba 11%; tilapia 22% y bagre 5 por ciento. Siendo éstas las principales pesquerías de Tamaulipas por su participación en el volumen y valor de producción por captura.

Tabla 2
Producción de las principales especies en Tamaulipas para el 2006

<i>Especie</i>	<i>Volumen (Ton)</i>	<i>Valor (millones de pesos)</i>
Lisa	2 609	12 654
Bagre	1 123	13 925
Camarón	13 298	71 6762
Ostión	1 980	3 861
Jaiba	2 189	28 566
Trucha	903	14 087
Tilapia-Mojarra	5 108	60 019
Tiburón	518	4 351
Carpa	2 121	8 484
Huachinango	463	12 941
Cazón	576	4 637
Lebrancha	112	0 526
Otras especies	3 526	21 333

Fuente: disponible en http://www.agrotamaulipas.gob.mx/informacion_sector/acuicola.htm, consultado en mayo de 2008.

Tabla 3
Volumen y valor de la producción pesquera en Tamaulipas

<i>Año</i>	<i>Volumen producción (miles de toneladas)</i>	<i>Valor de la producción (millones de pesos)</i>
2000	44 960	842
2001	41 152	880
2002	41 148	880
2003	41 143	970
2004	41 860	1 026
2005	41 569	1 020
2006	34 526	902

Fuente: disponible en http://www.agrotamaulipas.gob.mx/informacion_sector/acuicola.htm; consultado en mayo de 2008.

Tamaulipas cuenta con una flota pesquera de 6 919 embarcaciones, de las cuales 238 son camarónicas. La pesquería más importante tanto desde el punto de vista de captura como económica es la del camarón, que por sí sola representa alrededor del 30% de la captura y más del 50% del valor económico total de la actividad pesquera.

En el contexto nacional, Tamaulipas mantiene el cuarto lugar en el valor de la producción pesquera y el octavo en el volumen; asimismo, en la producción por especies ocupa el primer lugar en el volumen de captura de lisa; el tercero en trucha y el quinto en jaiba y ostión. Como actividad económica, la pesca en Tamaulipas constituye una importante fuente de alimentos, empleo y bienestar económico. Esta actividad representa 1.3% de la Población Económicamente Activa ocupada en el estado y genera casi 7% del valor de la producción pesquera nacional.

Debido al gran potencial pesquero, se ha desarrollado también la industria encargada de procesar los pescados y mariscos enlatados para conservarlos indefinidamente, aunque en la actualidad el proceso todavía resulta caro para estos productos, lo cual restringe su mercado. En muchas partes del mundo el costo del envase es mayor que el del pescado que contiene, como en el caso de la sardina; esto hace necesario que los técnicos especialistas en el proceso de productos marinos estén constantemente buscando nuevas tecnologías que permitan la conservación del producto a menor costo y garantizando la seguridad para el consumidor. También se ha incorporado con gran éxito a la industria pesquera la congelación, debido a que de este modo los productos conservan un gran parecido en el gusto, textura y el aspecto

con los frescos y pueden almacenarse durante meses sin sufrir un deterioro grave, lo que ha permitido que se incremente el consumo de pescado congelado.

Fauna de Acompañamiento

El término *Fauna de Acompañamiento* (FA), sinónimo de pesca acompañante, se refiere a todas las especies de pescado, moluscos y crustáceos, incidentalmente capturados durante las operaciones de arrastre para captura de camarón (Allsop, 1983). Esta fauna se encuentra conformada por peces de aceptación comercial de más de 25 centímetros de largo, como los pargos; por peces con poco mercado, que generalmente miden menos de 25 centímetros; por peces pequeños con gran número de espinas difíciles de filetear que por lo común son utilizados para elaborar harina o productos ensilados de pescado; por especies vegetales, como algas y otras de animales como esponjas, corales, moluscos y sus conchas, erizos y estrellas de mar. En el Golfo de México la talla promedio del pescado de acompañamiento se ha establecido en 17 cm, con un peso en la mayoría de las especies capturadas menor a 0.5 kg. Se estima que por cada tonelada de camarón se capturan y desperdician entre tres y 10 toneladas (López, 2005).

En términos generales, la duración del viaje de captura es de entre 15 y 30 días; se pescan de una y media a tres toneladas de camarón por viaje, además de un promedio de 20 toneladas de Fauna de Acompañamiento.

La utilización de esta fauna de acompañamiento es importante debido a que la carencia de proteínas animales cada día es mayor y este recurso, que en ocasiones presenta la proporción de tres a 10 kg por kilo de camarón, es factible de ser utilizada como alimento para el hombre. Se han realizado diversos estudios sobre la biología y ecología de dichas especies, así como estrategias y técnicas de elaboración de productos (salchichas, paté, tortas, sopas secas, croquetas, empanizados y galletas, entre otros), a partir de la Fauna de Acompañamiento del Camarón (FAC).

Alternativas y aprovechamiento

En México se han realizado muchos intentos por aprovechar la Fauna de Acompañamiento, un ejemplo es el diseño de barcos camaroneros con una planta de harina a bordo, sin embargo no se ha logrado el éxito completo porque no se cuenta con información confiable sobre que especies que conforman la Fauna de Acompañamiento, su volumen, variación anual y regional. Estos datos son necesarios para implementar

cualquier proyecto para su aprovechamiento. La utilización de esta fauna de acompañamiento es importante para potenciar el desarrollo económico del estado de Tamaulipas.

En el estado se filetean grandes cantidades de especies tales como trucha, lenguado, tilapia, carpa y lisa, cuyos desperdicios no son aprovechados y representan una fuente de contaminación. Una alternativa para una mayor diversificación de esta industria es el desarrollo de productos manufacturados que incorporen el músculo de pescado troceado dentro de las formulaciones. Para la elaboración de estos productos tradicionales como embutidos, y no tradicionales, como productos de imitación a base de surimi, se aprovecha la funcionalidad de las proteínas miofibrilares. Este tipo de aplicaciones permiten el aprovechamiento y el desarrollo de productos cárnicos pesqueros a costos menores y sobre todo que garanticen la seguridad alimentaria del consumidor (Ramírez de León y otros, 2006).

Lisa (*Mugil cephalus*)

La lisa es una especie ampliamente distribuida en aguas costeras de las zonas tropicales y subtropicales de todos los mares. Se le encuentra en sistemas lagunar-estuarinos, ya que tolera grandes variaciones de salinidad, desde aguas hipersalinas hasta dulces (Ramírez de León y otros, 2006). Fernández (2001) menciona que existen cinco especies: *Mugil saliens* o galúa; *Mugil chelo* o lisa; *Mugil ramada* o capitón; *Mugil cephalus* o pardete y *Mugil auratus* o galupe, las cuales se identifican con sus nombres comunes como; mújol, lisa, muble, capitón o galúa, dependiendo de la zona donde se encuentre.

La lisa es una especie gregaria, con pesos apreciables, constituyéndose como una captura habitual cuando se pesca en puertos y zonas cerradas. Se ha reportado que el peso máximo que ha alcanzado esta especie es de 12 kg y su longitud puede ser de 120 cm con 16 años de vida.³ Las características generales de la lisa se describen en la tabla 4.

³ Disponible en www.fishbase.com; consultado en mayo de 2008.

Tabla 4
Características generales de lisa *Mugil cephalus*

<i>Característica</i>	<i>Descripción</i>
Nombre científico	<i>Mugil cephalus</i> Linnaeus, 1758.
Nombre común	Lisa, lisa cabezona, lisa rayada.
Nombre internacional	Stripped gray mullets o sólo Striped mullet.
Familia	<i>Mugilidae</i> (Mulletts).
Orden	<i>Perciformes</i> .
Clase	<i>Actinopterygios</i> (peces con aletas radiadas).
Talla máxima	120 cm (macho); peso máximo publicado: 12 kg; edad máxima comunicada: 16 años.
Hábitat	Bentopelágico, catadromo, agua salobre, marino, rango de profundidad 0-120 m.
Clima	Subtropical.
Importancia	Pesquerías: muy comercial; acuicultura: comercial; pesca deportiva: sí; Acuario: comercial; carnada: ocasionalmente.
Resistencia	Medio, población duplicada en un tiempo mínimo de 1.4-4.4 años.
Distribución	Aguas costeras de las zonas tropicales y subtropicales de todos los mares.
Peligrosidad	Inocuo, inofensivo.

Fuente: disponible en www.fishbase; consultado en mayo de 2008.

Características morfológicas

La lisa, como se muestra en la figura 3, tiene un cuerpo alargado, en forma de torpedo y poco comprimido lateralmente; la cabeza es ancha, grande y plana, con el morro corto y ligeramente redondeado. La boca se caracteriza por disponer de dientes muy pequeños, casi inexistentes, por lo que habitualmente se alimenta de todo aquello que encuentra comestible y que no tienen necesidad de masticar, como algas y desechos que se encuentran sobre el fondo. Disponen de huesos faríngeos que actúan como filtros, separando la materia orgánica del fango con que se encuentra mezclada. Debido a su especial forma de alimentarse, el estómago es de paredes gruesas y musculosas (Fernández, 2001).

Figura 3
Lisa (*Mugil cephalus*)



Fuente: disponible en <http://eol.org/pages/206857>; consultado en febrero de 2008.

La lisa tiene dos aletas dorsales visiblemente separadas, la primera con cuatro radios espinosos. La coloración del dorso es gris oscuro, los flancos plateados y el vientre blanco; las escamas son grandes y se desprenden fácilmente (Fernández, 2001; Ramírez de León y otros, 2006). La lisa alcanza su madurez sexual a la edad entre dos y tres años, dependiendo de la temperatura. Durante el periodo de reproducción en general se agrupa en cardúmenes para migrar hacia aguas más profundas para desovar.

Hábitat

La lisa se considera un pez veloz que permanece siempre en movimiento a la búsqueda de pequeñas presas que se encuentra en el plancton, casi nunca se encuentra en profundidades inferiores a los 20 m. (Fernández, 2001). Es capaz de alcanzar una velocidad de 1.8 km/h por largos periodos; en distancias cortas puede desarrollar velocidades de hasta 23 km/h saltando frecuentemente fuera del agua. La dieta de las lisas consiste de algas, detrito o desperdicios, huevos de peces, plancton y objetos incrustados en el lecho marino, los cuales escarba con su quijada inferior (Ramírez de León y otros, 2006). Con su coloración plateada y sus espaldas oscuras exhiben una contrasombra protectora ya que se ven oscuras desde arriba y se mezclan con el fondo que está debajo de ellas.

Captura

La captura de *Mugil cephalus* está relacionada con el periodo de desove. Este periodo puede variar de acuerdo con la latitud. En México la especie desova en la época de otoño-invierno, durante los meses de octubre-febrero. Por esta razón se ha establecido como temporada de veda del 1 al 31 de diciembre, intensificando la captura para Tamaulipas en el mes de noviembre principalmente (34.5% del volumen total), para aprovechar la hueva (Ramírez de León y otros, 2006).

Generalmente viajan en cardúmenes que contienen varios cientos de peces y a menudo se encuentran cerca de la superficie donde pueden ser atrapados por los pescadores quienes las utilizan como carnada para atraer peces más grandes, aunque la lisa también es comercialmente importante como alimento. Cabe señalar, como dato adicional, que en el sudeste de Asia son frecuentemente cultivadas en estanques.

En Tamaulipas hacia finales de los años sesenta la lisa que se capturaba en la Laguna Madre; se consideraba como pesca incidental, no tenía importancia comercial y era desechada. Actualmente tiene un aprovechamiento integral y es comercializada entera y fresca para filete, para carnada de las pesquerías marinas y jaiba, seca salada; se aprovechan también sus mollejas y la gónada masculina (Fernández, 2001).

El comercio para este producto que inicialmente abastecía el mercado nacional cambió en los últimos años, alcanzado importancia comercial a nivel internacional con exportaciones a Japón, Italia, España y Estados Unidos, principalmente, donde es seleccionada por medida o peso, alcanzando buenos precios; por lo cual, la elaboración de nuevos productos a base de lisa, que permitan su comercialización como producto terminado proporcionando valor agregado y una nueva alternativa de comercialización, aumentaría su aprovechamiento, rendimiento y comercialización como un producto importante de la pesca (Ramírez de León y otros, 2006).

La pesquería de la lisa en la Laguna Madre representa una contribución importante en cuanto a su abundancia y los beneficios económicos que aporta, ya que la temporada de mayor captura se ubica en los meses de noviembre y diciembre, periodos en los cuales realizan migraciones reproductivas de la laguna hacia el mar, en los cuales se intensifica la actividad pesquera para aprovechar estos movimientos de la especie y comercializar sus gónadas o huevas. (Gómez Ortiz, 2002).

Hueva de lisa

La hueva de lisa se considera un alimento *delicatessen*; el proceso de secado y vinagrado se usa desde hace muchos siglos. La hueva conservada en vinagre es conocida

como *bottarga* por los italianos. En Japón la hueva salada es conocida como *Karasaki* y es altamente estimada como un alimento *delicatessen* (Hsu y Deng, 1978). La composición nutricional de la hueva de lisa se muestra en la tabla 5.

Tabla 5
Composición nutricional de la hueva de lisa
(*Mugil cephalus*)

<i>Componente</i>	<i>Rango de concentraciones</i>
Humedad	50.4 - 61.5%
Proteínas	22.6 - 28.7%
Grasa	13.7 - 19.8%
Cenizas	1.8%

Fuente: disponible en <http://www.cibnor.mx/investigacion/programas>; consultado en febrero de 2008.

En Tamaulipas, la lisa alcanza la madurez sexual a finales de noviembre y desova en la superficie de aguas con una profundidad aproximada de 150 m. Esta actividad generalmente suele prolongarse hasta el mes de enero. El número de huevos producido por la hembra es de 1 millón a 3 millones y maduran o eclosionan después de 48 horas. Los adultos una vez ocurrido el desove regresan a las lagunas costeras y los individuos ingresan a la pesquería desde los dos años de edad; a los tres años de edad el 100% de hembras se encuentran completamente maduras.⁴

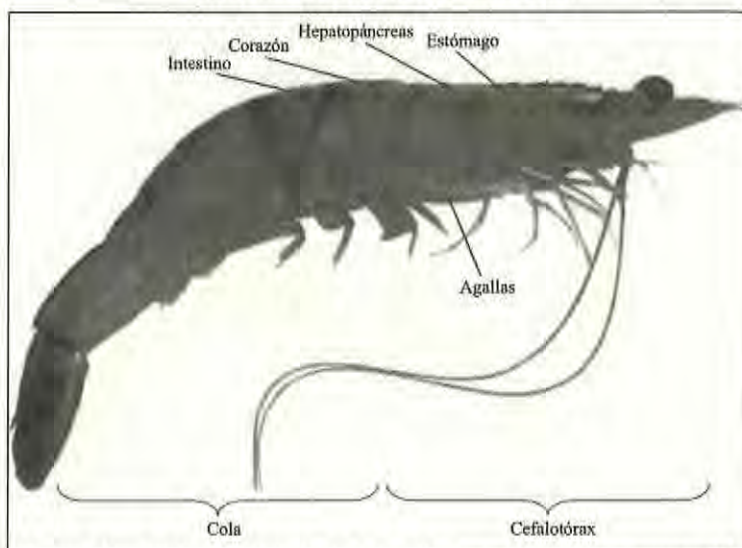
En México la lisa constituye una de las diez industrias pesqueras más importantes como consecuencia del volumen que sobrepasa 10 mil toneladas por año y el 99% de la venta de hueva de lisa ocurre en los estados de Tamaulipas y Veracruz. La gónada femenina tiene un mercado extendido porque es consumido regionalmente así como a escala nacional e internacional (Ibáñez y otros, 1999).

⁴ Disponible en <http://www.cibnor.mx/investigacion/programas>; consultado en febrero de 2008.

Camarón

Existen aproximadamente 2 500 especies de camarones en el mundo (figura 4), pero sólo una docena de ellas es explotada comercialmente; la producción en granjas es dominada sólo por unas pocas.

Figura 4
Anatomía general del camarón



Fuente: disponible en http://www.cesasin.com.mx/manual_camaron.pdf; consultado en febrero de 2008.

La especie “tigre negro” (*Penaeus monodon*) domina la producción en granjas del Sudeste Asiático contribuyendo más de la mitad de la producción de cultivo en los últimos años. El camarón blanco del Pacífico (*Penaeus vannamei*) domina la producción en granjas de América Latina (más del 90 % de la producción); es una especie nativa de la costa del Océano Pacífico y habita desde Sonora, en el Golfo de California hasta las costas del Perú. Se le puede encontrar en aguas costeras desde cero hasta 72 m de profundidad, sobre fondos fangosos, tiene preferencia por las aguas marinas en su vida de adulto y por las estuarinas desde poslarva hasta juvenil.⁵

⁵ Disponible en <http://www.fincadonalain.com>; consultado en febrero de 2008.

Esta especie puede alcanzar una talla comercial de 20 cm a partir de poslarvas (cinco a 15 días), en un tiempo de cuatro a seis meses, a una densidad de 50 mil a 75 mil individuos por hectárea. Últimamente se ha cultivado esta especie en forma experimental en la Universidad de Texas A&M en densidades de más de 200 mil individuos por hectárea pero el crecimiento obtenido en tres meses fue de sólo 10 g y se obtuvo una supervivencia de 73 por ciento. Sin embargo, en cultivos comerciales semiintensivos en diferentes partes del mundo, especialmente Centro y Sudamérica (Ecuador, Panamá, Costa Rica), así como en Hawai, se han obtenido crecimientos mayores. A partir de 1991 el Centro de Investigación Científica y Tecnológica de la Universidad de Sonora (CICTUS) ha incursionado en el cultivo de esta especie, en estanques de tierra obteniendo producciones de más de dos toneladas/hectárea por cultivo y supervivencia de hasta 70 por ciento. Esta especie es muy apreciada por los acuicultores no sólo por sus excelentes condiciones de crecimiento y supervivencia, sino además por su alto valor en el mercado. Otra de las ventajas es su resistencia al virus IHNV que tan severamente ha afectado a las granjas regionales que cultivan el camarón azul.⁶

Nutrición general del camarón

El camarón presenta hábitos alimenticios distintos durante su ciclo de vida. Como larva juvenil (*zoea*) es planctónico, filtrando algas microscópicas y otros materiales suspendidos en el agua. Como larva adulta (*mysis*) es mayormente predadora consumiendo generalmente proteína animal como artemia. Luego de la metamorfosis a poslarva juvenil se vuelven carroñeros bentónicos, nutriéndose de una variedad de alimentos y siendo omnívoros el resto del ciclo. En general, el crecimiento y supervivencia del camarón silvestre depende de factores como calidad del agua, alimento natural y un hábitat protector. El propósito principal del cultivo es proveer adecuada calidad de agua, ambiente y nutrición para un rápido crecimiento a densidades mucho mayores que las encontradas en ambientes naturales.

La nutrición del camarón es un problema complejo porque sus requerimientos cambian a lo largo de sus ciclos de vida, por lo que las fórmulas deben ser específicas para cada ciclo. Más aún, los alimentos naturales suplementan a los manufacturados y los granjeros deben manejar los estanques como un ecosistema que maximice los beneficios de los alimentos naturales y manufacturados (Fox y otros, 2001).

⁶ Disponible en <http://www.geocities.com/christophbeck/camaron.html>; consultado ; consultado en febrero de 2008.

Requerimientos proteicos

Uno de los principales problemas asociados a la maricultura es el empleo de alimentos con alto contenido de nitrógeno pero de baja calidad proteica debido a que los productores de alimentos y los maricultores han asociado tradicionalmente y de manera empírica una alta concentración de proteína con una buena calidad del alimento (Escutia, 1996). Sin embargo, como este criterio sólo considera los gramos de proteína por cada 100 gramos de alimento, el valor nutritivo no siempre es el esperado, y provoca que los alimentos no sean totalmente aprovechados por los camarones, ya que sobrepasan o no cumplen con los requerimientos de su sistema digestivo (Velasco y otros, 1996). La necesidad de proteína es frecuentemente mal empleada para denotar el contenido o nivel de proteína en el alimento. Los nutricionistas reconocen que proveer la proteína adecuada implica tres factores: 1) requerimiento de aminoácidos esenciales; 2) digestibilidad general de proteínas dietéticas y 3) nivel de consumo del alimento.⁷

Los ingredientes proteicos es la porción más costosa en los alimentos, por lo que tienen que ser suministrados en cantidad adecuada para que los camarones satisfagan sus requisitos nutricionales. Una cantidad deficiente de proteínas limitará el crecimiento de estos crustáceos mientras que una con excesos de nutrientes causará que sólo una parte sea utilizada para la construcción de tejidos, y del resto, una parte se desvía hacia catabolismo por transaminación de aminoácidos y la otra se descarta en heces. Por lo tanto, es importante que la proteína incluida en los alimentos sea eficientemente aprovechada y evitar así desperdicios, lo que como consecuencia mejora el índice costo-beneficio (Piedad, 1990).

La información disponible sobre los requerimientos de aminoácidos esenciales para el camarón es escasa. Las fuentes de proteínas más usadas en alimentos para camarón son la harina de pescado y la harina de soya, mismas que se encuentran en casi todas las dietas comerciales, debido que son atractantes, altamente digestas y ricas en aminoácidos esenciales, principalmente lisina y otros aminoácidos básicos, además de que contienen proteína razonablemente digerible (alrededor de 80%) por el camarón, aunque no todas las fuentes tienen la misma calidad o digestibilidad. Por ejemplo, la harina de pescado puede estar en un rango de proteína entre 58 y 68% (en materia seca). Sin embargo se debe tener mucho cuidado con su calidad; una buena harina de pescado debe tener pocos lípidos y cenizas, un bajo índice de peroxidación de lípidos y no debe contener histamina. Aún las mejores harinas de

⁷ Disponible en http://www.uhh.hawaii.edu/~pacrc/Mexico/files/manual/es_04_shrimp_farming_methods.pdf; consultado en febrero de 2008.

pescado no deben de ser incluidas en niveles que excedan 40% (en el caso de dietas (*Penaeus vananamei*), para que no haya una depresión del crecimiento, aunque las razones de este efecto no son bien conocidas. El uso de proteína de origen animal como la harina de carne y sangre está limitado principalmente por su contenido en ácidos grasos saturados.

Las proteínas vegetales son usadas en menor grado en las dietas para camarón porque son menos atractantes, y su composición en aminoácidos es menos balanceada. También contienen ácidos grasos de cadena más corta que los productos marinos, a menudo de las series omega 6 ($\Omega 6$), y muchas contienen productos tóxicos como el factor antitripsico de la soya, el gossypol del algodón, aflatoxinas u otros hongos muy tóxicos. Debido a esto la proteína vegetal debe seleccionarse con mucho cuidado. En la práctica sólo las mejores proteínas vegetales conocidas son usadas para ciertas especies, por ejemplo la harina de pasta de soya. Substituciones de hasta 30% se han revelado eficaces, mientras que porcentajes mayores requieren suplementación con aminoácidos libres.

Los fabricantes de alimentos deben proveer los reportes de digestibilidad de las fuentes de proteína usadas (Fox y otros, 2001). La estimación del requerimiento de proteína del camarón precisa conocer a su vez el contenido de proteína en el alimento, su digestibilidad en términos de aminoácidos esenciales y la tasa de consumo promedio, bajo las distintas condiciones ambientales. Si el alimento está sobrecargado con proteína, alguno de estos componentes será utilizado para energía; por el contrario, en un alimento con un buen balance la mayoría de las proteínas idealmente serán usadas para crecimiento. El mejor contenido de energía de los alimentos se deriva de fuentes de granos de bajo costo relativo (trigo, maíz, arroz) (Fox y otros, 2001).

Carbohidratos

Los carbohidratos pueden usarse como fuente de energía, como reserva de glucógeno, en la síntesis de quitina, ácidos nucleicos y en la formación de esteroides y de ácidos grasos. La mayoría de las especies de camarón no son capaces de asimilar grandes cantidades de carbohidratos debido a su limitada digestión de almidones. Pero aún en las especies más carnívoras el uso de carbohidratos es recomendable, ya que puede ser una fuente importante de energía ahorrando cantidades substanciales de proteína. Algunos tipos de almidón son también usados como agentes aglutinantes. El aporte de glucosamina que se utiliza en la síntesis de quitina en proporción de 0.53% de la dieta aumenta la tasa de crecimiento. Las principales fuentes de

carbohidratos son la harina de maíz, trigo, arroz y sorgo, así como sus subproductos. Según el país estos cereales son usados en función de su precio y disponibilidad. Sin embargo, el trigo es el mejor aglutinante no por la naturaleza de su almidón sino por su contenido en gluten. La digestibilidad de los almidones de los cereales o granos es mejorada por tratamiento térmico, principalmente durante el proceso de extrusión o de cocción. La glucosamina, monómero de la quitina, ha sido considerada como nutriente esencial y adicionado en dietas puras; pero generalmente la fuente de glucosamina es la misma quitina, uno de los constituyentes principales de la harina de camarón.⁸

Lípidos

Los lípidos generalmente sirven como fuente de energía y como attractante; su concentración en la mayoría de alimentos comerciales es menor del 8% de la dieta (como base alimenticia). Concentraciones mayores pueden dar como resultado una pobre aglutinación y reducción de la hidroestabilidad. La calidad de los lípidos puede reflejar la calidad del alimento. Si se almacena inadecuadamente, el ácido graso del alimento puede conllevar a la auto oxidación, llevando como resultado a una condición inadecuada de rancidez-toxicidad. Los lípidos sirven además como vehículos de las vitaminas liposolubles y proveen otros compuestos, como esteroides y fosfolípidos que son esenciales para el buen funcionamiento metabólico del camarón.

Los fosfolípidos son muy importantes y deben ser considerados en la selección de fuente de lípidos para la dieta, su carencia disminuye el crecimiento y la sobrevivencia; son esenciales porque se requieren para el transporte de colesterol y triglicéridos en el camarón. Los camarones son organismos con un contenido bajo en lípidos, representando menos del 2% de su peso corporal. En el músculo, los fosfolípidos representan más del 50% de los lípidos totales y son principalmente constituyentes de membranas celulares (Gong y otros, 2004). Fuentes de lípidos purificados (como los aceites de pescado) son incluidos en dietas comerciales para camarón con el fin de asegurar el contenido mínimo de lípidos y satisfacer los requerimientos de ácidos grasos esenciales.

⁸ Disponible en <http://www.educacion.uanl.mx/publicaciones/maricultura/acuicolaIII/pdfs/4.pdf>; consultado en mayo de 2008.

En el camarón, el colesterol es un nutriente indispensable para su crecimiento y supervivencia, pues no puede sintetizarlo. Una concentración de 0.5 a 1.0% en la dieta promueve el crecimiento mientras una concentración mayor de 5% lo retarda; cabe señalar que el colesterol es un constituyente de membranas celulares y precursor de hormonas esteroides. El nivel óptimo en la dieta depende de la especie, la tasa de alimentación y la presencia de otros nutrientes. Los requerimientos se determinan principalmente a partir de experimentos en donde se usan niveles graduales de inclusión de colesterol. Se ha sugerido que el fosfolípido dietético facilita la utilización del colesterol por los crustáceos, incrementando su movilización desde el tracto digestivo hacia la hepatopáncreas, hemolinfa y músculo por medio de lipoproteínas. Gong y otros (2004), reportaron que el fosfolípido dietético reduce el requerimiento de colesterol para *Litopenaeus vannamei*, alimentando en exceso moderado. El nivel de colesterol para alcanzar un crecimiento óptimo fue de 0.35 y 5.0% de fosfolípido dietético respectivamente.

Aunque algunos ingredientes de la dieta como la harina de pescado, de camarón, de calamar, de cangrejo y otras pueden cubrir parte del requerimiento de colesterol, aunque se requiere adicionar colesterol purificado para lograr un crecimiento óptimo. El colesterol es un ingrediente relativamente caro y su costo puede resultar prohibitivo para el uso en dietas de camarón. Sin embargo, su requerimiento puede satisfacerse con otro tipo de esteroides que pueden ser convertidos a colesterol por el camarón, aunque los resultados obtenidos usando diferentes tipos de esteroides son variables (Castille y otros, 2005).

Requerimientos vitamínicos para camarones juveniles

Las vitaminas son un complejo grupo de sustancias orgánicas requeridas en pequeñas cantidades, las cuales son esenciales para el mantenimiento, crecimiento y reproducción de los animales. En realidad poco se conoce sobre los requerimientos de vitaminas en camarones en comparación con la información disponible para otras especies acuícolas tales como salmones y truchas.⁹ De los requerimientos nutricionales estudiados en los camarones, la nutrición de vitaminas está considerada como una de las áreas más limitadas (Fenucci y Fernández, 2004).

⁹ Disponible en <http://www.educacion.uanl.mx/publicaciones/maricultura/acuicolaIII/pdfs/10.pdf>, consultado en mayo de 2008.

Las vitaminas son un grupo de nutrientes esenciales requeridos en la mayor parte de las formas vivas. Aproximadamente 15 vitaminas han sido identificadas positivamente y se subdividen tradicionalmente dentro del grupo de liposolubles: las que incluyen al retinol (vitamina A); colecalciferol (vitamina D3); tocoferol (vitamina E) y menadiona (vitamina K3). El grupo de vitaminas hidrosolubles, por su parte, incluye a la tiamina (vitamina B1); riboflavina (vitamina B2); pirodixina (vitamina B6); ácido pantoténico; ácido nicotínico; biotina; ácido fólico; cianocobalamina (vitamina B12); ácido L-ascórbico (vitamina C), colina, e inositol.

La colina generalmente se clasifica como una vitamina esencial; ocasionalmente es referida como vitamina (B4), vital para el metabolismo normal de los animales. Es un componente importante de los fosfolípidos de lecitina y otros lípidos complejos, y se reconoce como una fuente importante de grupos metilos utilizados en la síntesis de varios metabolitos metilados, asimismo, es precursor de la acetilcolina. La mayoría de los animales sintetizan colina a partir de la metionina presente en la dieta; sin embargo, en muchas ocasiones no es suficiente para cubrir las necesidades metabólicas y fisiológicas del organismo. Los fosfolípidos de las membranas celulares contienen colina e inositol (función estructural), además funcionan como coenzimas (Fenucci y Fernández, 2004).

Se ha demostrado que la ausencia de vitaminas de la serie B, colina e inositol en la dieta de varias especies de camarones, produce disminución de la tasa de crecimiento y supervivencia. Además se observaron síntomas tales como irregularidades en el ciclo de muda, cambios en la coloración del cuerpo y anomalías del exoesqueleto. La función biológica de la tiamina es la de una coenzima, cocarboxilasa, requerida para la descarboxilación oxidativa en el metabolismo de carbohidratos (Fenucci y Fernández, 2004).

El ácido ascórbico o vitamina C es una sustancia muy soluble que se pierde fácilmente por lixiviación y se oxida también de manera rápida por lo que al experimentar con animales se pueden obtener conclusiones erróneas determinando un requerimiento aparente mayor que el requerimiento biológico. La utilización de formas químicamente estables como el L-ascorbyl-2 sulfato, L-ascorbyl-2 polifosfato, reduce en gran medida el requerimiento de esta vitamina. La mayoría de las especies de camarones y langostinos necesitan vitamina C en la dieta y que su ausencia causa problemas en la síntesis de colágeno. La "muerte negra" representa una manifestación externa en la reducción de la síntesis del colágeno caracterizada por lesiones mecanizadas en el exoesqueleto. La deficiencia de esta vitamina en la dieta de camarón causa además disminución del crecimiento, reducción de la frecuencia de muda o mudas incompletas, así como disminución a la resistencia al estrés y alta mortalidad (Fenucci y Fernández, 2004).

Vitaminas liposolubles

La vitamina A es un nutriente esencial para todas las especies de mamíferos, aves y peces. Esta vitamina es requerida en la regeneración del componente sensitivo a la luz (la rodopsina) en la retina; el transporte de calcio a través de las membranas, el crecimiento óseo, la reproducción, el mantenimiento de la integridad de las membranas de las células epiteliales. El β -caroteno, cuya molécula es simétrica, se escinde produciendo dos moléculas de vitamina A, mientras que otros carotenoides como astaxantina, producen solo una. Las provitaminas carotenoides son la principal fuente alimentaria de vitamina A y se estima que la principal fuente de ésta en la dieta natural de los crustáceos es el fitoplancton. El principal signo de deficiencia de vitamina A en la dieta de *Litopenaeus vanamei* es el crecimiento lento (Fenucci y Fernández Jiménez, 2004).

El colecalfiferol (vitamina D) es la forma más comúnmente encontrada en la naturaleza; el ergosterol está presente en los vegetales y el 7-deshidrocolesterol en animales. El colecalfiferol tiene un rol esencial en el metabolismo del calcio y el fósforo estimulando la absorción del calcio desde el intestino. En los crustáceos de agua dulce esta vitamina posiblemente interviene en la formación de gastrolitos; también regula la movilización del calcio entre los distintos tejidos, manteniendo su nivel fisiológico normal en hemolinfa y actúa en la mineralización del exoesqueleto. Originalmente se afirmaba que la vitamina D no era metabólicamente importante para los crustáceos, porque otros factores endócrinos presentes en el organismo y la disponibilidad de calcio en el ambiente se creían suficientes para el metabolismo del calcio y fósforo. Sin embargo, varios autores han encontrado que la vitamina D es importante en la dieta de los crustáceos. La ausencia de colecalfiferol en la dieta de *Litopenaeus vannamei* produce falta de apetito y la incorporación de 20 mg/kg dieta (8 mil IU/kg) demostró ser óptimo para la supervivencia de esta especie en cultivo (Fenucci y Fernández, 2004).

La vitamina E conocida con el nombre de tocoferol se encuentra en varias formas en la naturaleza, pero la forma de mayor actividad es el α -tocoferol. La vitamina E se sintetiza sólo por las algas y los vegetales, siendo las primeras la fuente de este compuesto para los crustáceos. El acetato de tocoferol es la forma más utilizada en dietas comerciales para peces y crustáceos en cultivo. La porción acetato es hidrolizada durante la digestión y la porción activa α -tocoferol se incorpora a los lípidos de las membranas celulares, actuando como antioxidante. El tocoferol y el selenio actúan sinérgicamente contra la peroxidación de lípidos (Fenucci y Fernández, 2004). Se ha demostrado en crustáceos, que el requerimiento de vitamina E se incrementa conforme aumenta el nivel de ácidos grasos poliinsaturados de la dieta. El

requerimiento también varía de acuerdo a la presencia de otros factores antioxidantes. La incorporación de aceites de buena calidad a las dietas protege a los lípidos durante la manufactura y el almacenaje, asimismo, aparentemente disminuye el requerimiento de vitamina E para los peces.

Varios trabajos han demostrado que las vitaminas E y C, así como el selenio y los carotenoides actúan sobre el sistema inmune incrementando la resistencia a las enfermedades en especies acuáticas cultivables. Este hecho es muy importante considerando que las enfermedades en un lote de cultivo de camarones —especialmente las de origen viral— pueden causar grandes pérdidas. Para *Litopenaeus vannamei* se determinó un requerimiento óptimo de vitamina E de 99 mg/kg dieta, nivel significativamente menor que 300 mg/kg previamente recomendado para la formulación de dietas comerciales. Asimismo, se puede apreciar un oscurecimiento de la hepatopáncreas de los camarones como signo de ausencia de vitamina E (Fenucci y Fernández, 2004).

La vitamina K es requerida por los vertebrados para la coagulación normal de la sangre. Hasta el momento no hay evidencias de que la vitamina K sea esencial en la dieta de crustáceos, ya que no se observaron efectos negativos en el crecimiento y supervivencia de *Litopenaeus vannamei*, cuando los ejemplares fueron alimentados con una dieta sin vitamina K. La utilización de la menadiona sintética, requiere de una consideración especial, ya que hay que tener en cuenta que esta forma de vitamina K es hidrosoluble y se produce lixiviación cuando el alimento permanece en el agua (Fenucci y Fernández, 2004).

Otros compuestos

Los minerales que presentan mayores limitantes en la formulación de alimentos comerciales para la producción de camarones son, con mayor frecuencia, el fósforo y calcio. El fósforo es único ya que se encuentra únicamente como un sólido y no se solubiliza en agua; puede encontrarse en muchas plantas verdes o granos en forma indigerible conocido como fitato o ácido fítico. El contenido de fósforo total de alimento para camarón usualmente es de 1.5 a 2.5% (como base alimenticia).

Los aglutinantes son incluidos en el alimento para asegurar que los nutrientes en la *pellet* no lixivien antes de su consumo. Es importante notar que la aglutinación adecuada depende también del proceso de elaboración (y no sólo del aglutinante), así como del tamaño de la partícula del ingrediente, del tiempo de acondicionamiento y temperatura, característica del dado en la extrusión y temperaturas de cocido y secado (Fox y otros, 2001).

Alimento para camarón

El alimento para camarón es uno de los más difíciles de fabricar y uno de los más caros dentro de los alimentos acuáticos debido a que no sólo debe contener un alto nivel de proteína, sino que además debe tener una alta estabilidad en el agua. Esta última condición reduce considerablemente la cantidad de materias primas de calidad disponibles que pueden ser usadas para lograr que el *pellet* permanezca en el agua sin perder su valor nutricional y con buena estabilidad durante varias horas.

Desde sus inicios, el alimento para camarones ha sido fabricado en equipos pelletizadores, los cuales han sido capaces de proveer un alimento de buena calidad, que ha hecho crecer esta industria en todo el mundo (Muñoz, 2004). Sin embargo, el desarrollo de la industria acuícola (avícola, porcina, etc.), ha ocasionado a que el consumo de algunas materias primas alcance niveles muy altos, lo que a su vez ha propiciado que no todas las materias primas puedan crecer al ritmo de la industria y han forzado, por lo tanto, sus precios al alza con las consabidas consecuencias. Este es el caso de la harina de pescado; importantes estudios predicen que en los próximos años habría una carencia tal, que impediría abastecer la industria de alimentos balanceados. Este factor repercute directamente sobre los precios del alimento, que siempre tiene la mayor participación en la estructura de costos de los cultivos acuáticos (Muñoz, 2004).

Por muchos años ha existido el interés por desarrollar ingredientes alternos a la harina de pescado como alternativa para elaborar alimentos para camarón. El beneficio sería disminuir el costo adicionando un recurso alternativo-económico en los alimentos. Uno de los ingredientes principales (particularmente para camarón), es la harina de pescado, debido a su valor proteico y perfil de aminoácidos. Sin embargo, su impacto negativo sobre las poblaciones de peces, así como su costo y metabolitos tóxicos han promovido la búsqueda de fuentes alternas para elaborar dietas rentables, competitivas y sustentables con el ambiente. De la variedad de ingredientes investigados como fuentes alternas y/o complementarias, las fuentes de harinas vegetales son las más confiables tanto en precio como en composición energética. Sin embargo, aumentar el uso de ingredientes vegetales puede dificultar la digestibilidad de la dieta para animales acuáticos, al tiempo que disminuye la asimilación y eficiencia del alimento (Ochoa y Olmos, 2005).

El desarrollo y uso de alimentos balanceados ha sido muy importante en la exitosa expansión global de las industrias de cultivo de camarón y su uso continuará creciendo en forma importante para mantener la rentabilidad y la viabilidad de estas empresas. La camaronicultura ofrece interesantes posibilidades para las personas que se dedican a la producción de camarón, como por ejemplo influir favorablemente

sobre el valor nutricional, el sabor, color, calidad sanitaria, textura y en la vida de anaquel de los organismos después de la cosecha (Ezquerro y otros, 2004).

Características físicas del alimento

Las características físicas son cualquier atributo que pueda afectar la manufactura, apariencia o integridad del alimento una vez sumergido en el agua; incluyen factores tales como: color, hidroestabilidad, tamaño de la partícula del ingrediente (nivel de molienda de ingredientes del *pellet*), tamaño del *pellet* y en cierto grado, atractabilidad.

El color del *pellet* no es importante en términos de atractabilidad o de consumo eventual, pero indica la composición y la calidad de la manufactura. La mayoría de alimentos suelen ser de tono marrón oscuro debido no sólo al proceso sino también al color de los ingredientes ya que la mayoría de ellos son relativamente oscuros. Algunas veces el alimento se vuelve más claro debido a la exposición prolongada a las altas temperaturas y a la luz directa del sol (Fox y otros, 2001).

Hidroestabilidad

La mayoría de los alimentos tienen características que permiten la estabilidad del *pellet* por un periodo de 4 a 6 horas. El incremento en la estabilidad del *pellet* es de poco valor comercial porque muchos atractantes se pierden con este tiempo de exposición. Para la aglutinación de la mayoría de "pellets" se utilizan ingredientes naturales como carbohidratos o componentes artificiales como la polimerasa sintética. La mayor parte de aglutinantes artificiales son adicionados al alimento en una proporción del 0.5 a 1% de la dieta y existe una relación directa entre el costo del aglutinante y la capacidad aglutinante (Fox y otros, 2001).

Tamaño de la partícula del ingrediente

La mayoría de los alimentos utilizan ingredientes que han sido molidos y pasados a través de un tamiz de al menos 500 μM (malla de 35). Los ingredientes deben molerse a tamaños menores para aumentar la aglutinación y formar el *pellet*, de esta forma se evita que el camarón rechace o seleccione pequeñas partículas ya que éste puede seleccionar partículas tan pequeñas como 10 μM en diámetro. Además, todas

las partículas del alimento son incluidas en el pellet ya que cualquier pérdida antes del consumo puede equivaler a una inadecuada nutrición, al menos con relación a ingredientes nutricionales (Fox y otros, 2001).

Tamaño del *pellet*

Las partículas del alimento pueden variar en tamaño desde muy pequeñas (menos de 50 μM , como las dietas para larvas) hasta 1/8 de pulgada en diámetro destinado para alimentos utilizados en la maduración del camarón (figura 5). La fabricación de partículas finas, medianas y mayores (entre 0.5, 1 y 2 mm , respectivamente) implica fracturar *pellets* de 3/32 con un tambor tipo “fracturador”. Las partículas “fracturadas” son separadas en tres tamaños por un tamiz. Si los ingredientes han sido adecuadamente mezclados, todas las partículas tendrán una composición nutricional similar (Fox y otros, 2001). El tamaño del alimento para el camarón no está relacionado con el tamaño de su boca; sin embargo el crustáceo necesita llevar las partículas del alimento mientras come y a menudo estarán nadando con el alimento.

Figura 5
Tamaño de *pellet* del alimento para camarón



Fuente: Pérez, 2007.

El *pellet* necesita ser lo suficientemente pequeño para poder ser llevado a la boca y permitir al camarón cargarlo mientras nada. El tamaño del alimento recomendado para el camarón con un peso de 3 a 15 g es de 2 mm x 4 mm y de un peso del camarón de 15 a 40 g el tamaño del alimento es de 2.5 mm x 5 mm . Sin embargo, mientras menor sea el tamaño del alimento, mayor será el número de partículas disponibles por unidad de peso y, por lo tanto, alimentará un mayor número de camarones (Cruz y otros, 2002).

Importancia de la estabilidad en el agua

Algunas investigaciones han demostrado que aproximadamente 20% de la proteína cruda, 50% de los carbohidratos y 50% del contenido de vitaminas de alimentos de

camarones se pierden antes de la ingestión. Por lo tanto, mejorar la estabilidad del *pellet* en el agua también es de importancia desde el punto de vista nutricional ya que incide directamente en los niveles de conversión y por supuesto en el costo del alimento (Muñoz, 2004).

Rancidez

La rancidez es un deterioro de los lípidos presentes en niveles relativamente altos en la mayoría de las dietas. En almacenamiento, el oxígeno del aire descompone químicamente las grasas y se forman productos secundarios indeseables. Estos compuestos pueden causar diversos problemas, incluyendo rechazo del alimento, sabores indeseables, deficiencias de vitamina E así como un crecimiento y salud inadecuados. La rancidez se previene con antioxidantes a las grasas en el alimento usando sólo aceite de pescado de la más alta calidad y con un almacenamiento bajo buenas condiciones.

Crecimiento de microorganismos

Desafortunadamente, la mayoría de los alimentos balanceados para acuicultura son un medio propicio para el crecimiento de bacterias y hongos cuando hay suficiente humedad y calor. Los hongos producen sustancias tóxicas llamadas micotoxinas, las cuales pueden causar diversos síntomas que van desde un mal crecimiento hasta mortalidades significativas. Por esto, es importante mantener bajos los niveles de humedad (<10%) y condiciones de almacenamiento apropiadas. Los antibióticos se adicionan generalmente para combatir infecciones patógenas bacterianas. Los alimentos comerciales suplementados con antibióticos son referidos como “alimentos medicados”. El uso continuo de antibióticos puede llevar al desarrollo de resistencia a los patógenos resistentes a los antibióticos. El uso de antibióticos en alimentos para camarón está prohibido en los Estados Unidos, esto ha conducido a incrementar la investigación enfocada en la suplementación de alimentos para acuicultura con bacterias prebióticas para controlar las enfermedades, particularmente vibriosis. Los agentes conservadores del alimento son componentes químicos incluidos para evitar las aflatoxinas, una toxina generada por un hongo *Aspergillus flavus*. Este hongo requiere condiciones de alta humedad (>14%) para crecimiento y es generalmente aislado de los granos que son potenciales fuentes de carbohidratos para la elaboración de alimento para camarón (Fox y otros, 2001).

Captura del camarón

Tamaulipas tiene una importante actividad pesquera principalmente dedicada a la captura del camarón y a la venta de pescado fresco y fresco-congelado en forma entero o fileteado. La falta de propuestas tecnológicas para el desarrollo de esta empresa estatal ha frenado su desarrollo, en contraste con el desarrollo industrial que se presenta en el Pacífico mexicano (INP, 2000). La pesquería más importante tanto desde el punto de vista de captura como económica es la del camarón, que por sí sola representa alrededor del 30% de la captura y más del 50% del valor económico total de la actividad pesquera.¹⁰

La captura y cultivo del camarón es una de las principales actividades económicas en México; la camaronicultura ha incrementado su producción sustancialmente en los últimos años, pasando de 15 867 *ton* en 1995 a 28 288 *ton* en 1999, mientras que la captura de camarón en alta mar, esteros y bahías disminuyó en forma gradual pero constante en el mismo lapso, pasando de 51 615 *ton* a 49 946 *ton* (Semarnap, 2000).

Cultivo del camarón

La maricultura ha crecido exponencialmente en las últimas dos décadas. Actualmente 25% de los mariscos para consumo humano se obtienen de cultivos. La industria de alimentos balanceados para la acuicultura en México registró un crecimiento del 150% en los últimos cinco años sumando un valor total aproximado de 65 millones de dólares al cierre del 2003. El reto que enfrenta en el corto plazo es el abasto de materias primas de calidad suficiente que soporten este ritmo de crecimiento y la diversificación hacia otras especies para disminuir el riesgo que representa la camaronicultura (Morales y otros, 2001).

La industria de cultivo de camarón, como los otros sectores pecuarios, busca producir carne con máximos rendimientos al mínimo costo. El uso de alimentos balanceados puede mejorar la producción de camarón e incrementar las utilidades. Sin embargo, los alimentos son caros y pueden variar del 50 al 70% del total de los gastos variables de producción. Por lo tanto, la calidad y el costo del alimento son factores críticos para la rentabilidad de una granja camaronera. Se menciona que la determinación de la digestibilidad es esencial no sólo para formular dietas a bajo

¹⁰ Disponible en http://www.tamaulipas.gob.mx/gobierno/secretarias/sec_obras/dir_med_amb/dir_recursos_naturales/diagnostico/primarias.htm; consultado en mayo de 2008.

costo sino que además es muy útil para la investigación de requerimientos nutricionales, selección de ingredientes con valor nutritivo potencial y formulación de dietas que minimicen la contaminación del agua (Cruz y otros, 2002).

Debido a la sobreexplotación pesquera de algunas especies de camarón, el reciente estancamiento de la captura mundial y los altos costos debidos al alza de los precios de los combustibles, la acuicultura constituye una de las actividades con mayor rentabilidad y es considerada una fuente generadora de alimentos. La industria del cultivo de camarón, al igual que los otros sectores pecuarios requiere ser más rentable y competitiva internacionalmente. El alimento en un cultivo de camarón representa 35 o 40% de los costos de producción, por lo cual el alimento debe estar bien balanceado y que sea económico.

La industria de la acuicultura tiene grandes ventajas sobre los pescadores. El acuicultor puede cosechar los organismos con menos estrés y daño físico de acuerdo con las demandas del mercado. También puede controlar la talla y la calidad de los productos para mercados específicos (Ezquerria y otros, 2004). Existe un potencial considerable para mejorar y optimizar las prácticas actuales de manejo de alimentación, mismas que deberían ser específicas para diferentes especies, áreas y hasta para distinta época del año (Bolívar, 2001). Sin embargo, y contrastando contra este efecto benéfico, la maricultura puede convertirse en un problema para los recursos pesqueros ya que depende de productos de la pesca para fabricar alimentos para los organismos de cultivo y provoca la afectación de las zonas vecinas a las granjas de cultivo mediante la descarga de aguas con alto contenido de materia orgánica. Uno de los principales problemas asociados a la maricultura es el empleo de alimentos con alto contenido de nitrógeno, pero de baja calidad proteica, debido a que los productores de alimentos y los maricultores han asociado tradicionalmente y de manera empírica una alta concentración de proteína con una buena calidad del alimento (Escutia, 1996).

La camaronicultura ofrece interesantes posibilidades para las personas que se dedican a la producción de camarón, de influir favorablemente sobre el valor nutricional, el sabor, el color, la calidad sanitaria, la textura y la vida de anaquel de los organismos después de la cosecha. Por lo que existe la necesidad de generar más conocimiento sobre la relación que hay entre las condiciones de cultivo y la calidad de determinadas especies (Ezquerria y otros, 2004).

Fuentes consultadas

- Allsop, H. (1983), *Fish by-catch Bonus from the Sea*, Vancouver, International Development Research Center (FAO-CIID), Vancouver.
- Bolívar, F. (2001), *Biocología moderna para el desarrollo de México siglo XX: Retos y oportunidades*, México, SEP-Conacyt.
- Castille, F.; *et al.* (2005), "Efecto del suplemento dietético de colesterol en el crecimiento y supervivencia de camarón *Litopenaeus vannamei*", *Panorama acuícola Magazine*, núm. 22, enero-febrero.
- Cruz Suárez, L. E., *et al.* (2002), "Historia y estatus actual de la digestibilidad y de algunas características fisicoquímicas de los alimentos comerciales para camarón: Nutrición Acuícola VI", *Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*, Cancún, Quintana Roo, México, 3-6 de septiembre de 2002.
- Damoradan, S. y A. Paraf (1997), *Food Proteins and their Applications*, New York, Marcel Dekker, pp. 11-116.
- Escutia, S. (1996), "El alimento balanceado en México desde el punto de vista del acuacultor", Canaimpes, Tercer Simposium Internacional de Nutrición Acuícola, Nuevo León, México, 11-13 de noviembre.
- Ezquerro-Brauer, J. M.; L. Bringas-Alvarado, A. Burgos Hernández y O. Rouzaud Sández (2004), "Control de la composición química y atributos de calidad de camarones cultivados. Avances en Nutrición Acuícola VII", *Memorias Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*, Hermosillo, Sonora, México, 16-19 de noviembre de 2004.
- Fenucci, J. L. y A. Fernández Jiménez (2004), "Acción de las vitaminas en la dieta de camarones penaeoideos. Nutrición Acuícola VII", *Memorias del VII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*, Hermosillo, Sonora, México, 16-19 de noviembre de 2004.
- Fernández Román, E. (2001), *Manual de iniciación a la pesca en agua dulce y en el mar*, Madrid, Tutor.
- Fox, J. M.; G. D. Treece y D. R. Sánchez (2001), "Nutrición y manejo del alimento", en *Methods for Improving Shrimp Farming in Central America*; M.C. Haws and C. E. Boyd (eds.), Managua, UCA, pp. 65-90.
- Gómez Ortiz, M. G. (2002), Evaluación de la pesquería de lisa *Mugil cephalus* en la Laguna Madre, Tamaulipas, INF-Sagarpa.
- Gong, H.; D. Jiang; A. Lawrence; M. González Félix; M. Pérez Velázquez (2004), "Nuevos avances en el estudio de fosfolípidos nutrimentales para camarón", *Memorias del VII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*, Hermosillo, Sonora, México, 16-19 de noviembre de 2004.

- Hsu, H. W. y J. C. Deng (1980), "Processing of Cured Mullet roe", *Journal of Food Science*, 45 (1): pp. 97-101.
- Ibáñez, A.; M. Gallardo y X. Chiappa (1999), Growth Analysis of Striped Mullet, *Mugil cephalus*, and white mullet, *M. curema* (*Pisces: Mugilidae*), in the Gulf of Mexico, *Fishery Bulletin*, 97 (4): pp. 861-872.
- INP (2000), *Sustentabilidad y pesca responsable en México: evaluación y manejo 1997-1998*, México, Semarnap-INP, p. 691.
- López Arias, N. (2005), *Determinación del efecto de la adición de transglutaminasa microbiana y pectinas de bajo metoxilo sobre las propiedades mecánicas y atributos de color en geles de pescado*, tesis de Maestría en Ciencias y Tecnología de Alimentos, México, Universidad Autónoma de Tamaulipas.
- Madrid, A. y J. C. Vicente (1999), *El pescado y sus productos derivados*, México, Mundiprensa, pp. 29, 42 y 43.
- Morales, G.; J. A. Ramírez; D. Vivanco y M. Vázquez (2001), "Surimi of Fish Species from the Gulf of Mexico: Evaluation of the Setting Phenomenon", *Food Chemistry*, 75 (1), pp.43-48.
- Muñoz, L. (2004), "Comparación entre extruido y pelletizado en alimentos de camarones. Avances en Nutrición Acuícola VII", *Memorias del VII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*, Hermosillo, Sonora, México, 16-19 de noviembre de 2004.
- Ochoa Solano, J. L. y J. Olmos Soto (2005), "Functional Nutrition in Aquiculture: Probiotics, a Sustainable Reality", *Panorama Acuicola Magazine*, septiembre-octubre, pp. 14-16.
- Ordóñez, J. A. (1998), *Tecnología de los alimentos*, vol. II, Alimentos de origen animal, Madrid, Síntesis.
- Pérez Mayo, C. (2007), *Elaboración de un alimento para camarón con un alto valor nutricional, adicionándole sorgo y reestructurado proteico de pescado*, tesis de maestría en Ciencias y Tecnologías de Alimentos, Universidad Autónoma de Tamaulipas, México.
- Piedad Pascual, F. (1990), Feeds and Feeding of Cultured Tiger Prawns in Southeast Asia, *Asian Aquaculture*, 12 (2), pp. 5-8.
- Ramírez de León, J. A.; M. Vázquez; R. Uresti; G. Velázquez y S. Téllez (2006), Aprovechamiento integral de la lisa: Alternativa de desarrollo económico para la Laguna Madre de Tamaulipas, *Ciencia UAT*, vol. 1, pp. 57-60.
- Semarnap (2000), *Anuario estadístico de pesca 1999*, México.
- Suzuki T. (1987), *Características del músculo de pescado y de proteínas de pescado. Tecnología de las proteínas de pescado y Krill*, Madrid, Acribia.

Velasco M.; A. L. Lawrence y W. H. Neil (1996), "Efectos de la proteína y el fósforo dietario en la calidad de agua de acuicultura", Tercer Simposium Internacional de Nutrición Acuícola, 11 a 13 de noviembre, 1996, Monterrey, México Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León.

Walter K. (1995), *Manual práctico del ahumado de los alimentos*, Madrid, Acribia.

Proteínas y estructura muscular

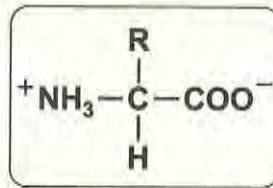
*José Alberto Ramírez de León
Virgilio Bocanegra García
Gonzalo Velázquez de la Cruz*

Proteínas

Las proteínas son polímeros biológicos o biopolímeros de alto peso molecular que están presentes en todos los organismos donde cumplen diversas actividades biológicas que permiten la vida. La supervivencia de todos los organismos depende en gran parte de su capacidad de producir estas moléculas, reemplazarlas frecuentemente y mantener un ambiente fisiológico adecuado para que mantengan su estructura nativa, incluyendo condiciones como pH, temperatura, fuerza iónica y presión. Entre las funciones biológicas de las proteínas destacan las siguientes características: estructura, movilidad, actividad enzimática, actividad hormonal, transporte, membranas, anticuerpos y toxinas.

Los principales elementos que componen a las proteínas son carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y en algunos casos azufre. Pueden contener también elementos como fósforo, hierro, cobre, yodo y magnesio, entre otros. La unidad repetitiva de estos biopolímeros son los aminoácidos los cuales son estructuras que contienen tres grupos funcionales característicos, un grupo amino, un grupo ácido carboxílico y un grupo funcional (grupo R) que varía dependiendo el aminoácido (figura 1). Se han identificado más de 100 aminoácidos en la naturaleza, pero sólo 20 se repiten constantemente y sus variantes de combinación, tanto en concentración como orden secuencial, determinan las propiedades a las proteínas que los contienen.

Figura 1
Estructura general de un aminoácido



Fuente: Anglemier y Montgomery, 1982.

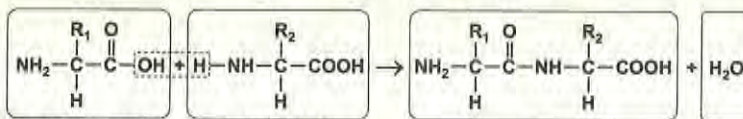
Actualmente su clasificación se basa en cuatro criterios fundamentales: composición química, estructura tridimensional, solubilidad y función biológica; cabe indicar que estos cuatro parámetros no son excluyentes, ya que una proteína puede estar incluida en todos los grupos (Badui, 1999).

Estructura tridimensional de las proteínas

Las proteínas se forman mediante la polimerización de los 21 aminoácidos unidos por enlaces peptídicos; por esta razón, sus propiedades nutritivas y sus características físicas y químicas dependen del tipo, cantidad y secuencia de unión de los monómeros constituyentes. (Anglemier y Montgomery, 1982; Badui, 1999).

La unión de dos aminoácidos se lleva a cabo a través del enlace peptídico, un enlace covalente que permite la unión del grupo carboxilo y el grupo amino con la consecuente eliminación de agua (figura 2).

Figura 2
Formación del enlace peptídico



Fuente: Adaptado de Badui, 1999.

La unión de dos aminoácidos forma un dipéptido; la unión de tres forma un tripéptido y, en términos generales, cuando el número de aminoácidos que participan es menor de diez, se denominan *oligopéptidos*. Una secuencia mayor de aminoácidos

es conocida como cadena polipeptídica de tal forma que las proteínas son cadenas polipeptídicas, generalmente con peso molecular mayor a 3 000 Daltons, creadas en la naturaleza con una estructura adecuada para desarrollar una función biológica (Badui, 1999). Se calcula que existen aproximadamente 5 millones de tipos de proteínas con propiedades y características muy específicas lo que dificulta su clasificación; sin embargo, los principales criterios que se usan para clasificar a las proteínas son su composición, su forma, su solubilidad y su función biológica.

Cada molécula proteica posee en su estado nativo una forma tridimensional conocida como *conformación* o *estructura tridimensional* lo que permite clasificarlas en dos grandes grupos: fibrosas y globulares.

En las proteínas fibrosas las cadenas polipeptídicas están ordenadas de modo paralelo a lo largo de un eje formando fibras o láminas largas; son físicamente resistentes, insolubles en agua y soluciones salinas diluidas, esto debido a que en su estructura secundaria prevalecen las láminas beta. Estas proteínas son parte del tejido conjuntivo de animales como el colágeno de los tendones y la matriz de los huesos; la α -queratina del cabello, uñas, cuernos, cuero, plumas y la elastina del tejido conjuntivo elástico.

Las proteínas globulares tienen cadenas polipeptídicas plegadas estrechamente de modo que adoptan formas esféricas o globulares compactas, debido a que en su estructura secundaria predominan las hélices alfa. La mayor parte son solubles en agua. Por lo general desempeñan funciones de transporte, y prácticamente todas las enzimas conocidas son proteínas globulares.

La función biológica de las proteínas depende en gran medida de su estructura conformacional, la cual tiene cuatro niveles de ordenamiento mismos que se conocen como estructuras primaria, secundaria, terciaria y cuaternaria (Anglemier, y Montgomery, 1982; Badui, 1999). La pérdida de la estructura nativa secundaria, terciaria o cuaternaria de las proteínas se denomina *desnaturalización*. La pérdida de la estructura primaria se denomina *proteolisis*.

Estructura primaria

Es la secuencia lineal de aminoácidos de la proteína, indicando los aminoácidos que componen la cadena polipeptídica y el orden en que se encuentran estos aminoácidos. La secuencia particular es una propiedad controlada genéticamente, altamente reproducible y única para cada tipo de proteína. La estructura primaria confiere muchas de las propiedades fundamentales, como la polaridad, solubilidad, reactividad, interacción no covalente con otras proteínas y/o moléculas. A pesar de

muchas investigaciones sobre la relación de la estructura primaria con la forma global de la proteína, aún no es posible predecir la forma tridimensional de una proteína a partir de su estructura primaria, la cual condiciona la formación de las estructuras secundarias como las láminas beta y las hélices alfa, pero hay regiones dentro de cada proteína que se ordenan espacialmente en una forma aleatoria aparente, que no permite una predicción de la estructura global, de la proteína. Una modificación de la secuencia primaria produce cambios en la funcionalidad de la proteína (Belitz y Grosch, 1985; Badui, 1999).

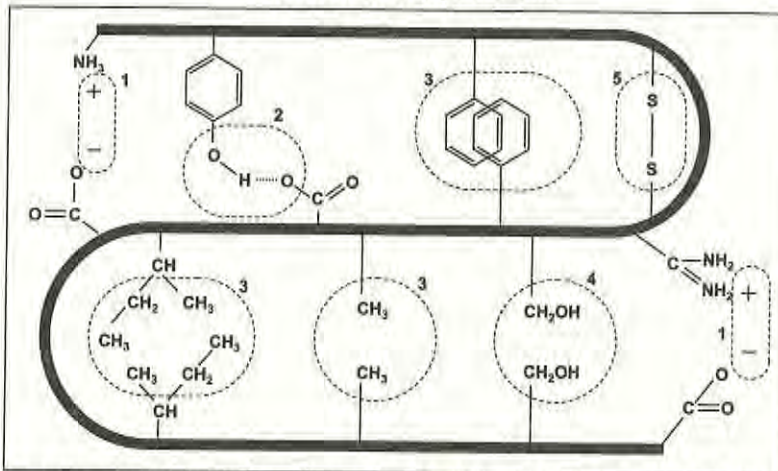
Estructura secundaria

La estructura secundaria es el acomodo espacial de la cadena polipeptídica asociada con la capacidad de giro del enlace peptídico. Existen tres tipos de estructura secundaria: la hélice alfa (con giro a la derecha que prevalece en las proteínas globulares); la conformación beta, también denominada *zig-zag* (u hoja plegada presente en las proteínas fibrosas como la queratina) y la tercera es la triple hélice del colágeno con giro a la izquierda. La estructura secundaria se estabiliza por diversas fuerzas (figura 3) de las cuales las electrostáticas, puentes de hidrógeno, interacciones hidrofóbicas y las dipolo-dipolo son las más importantes. La mayoría de las proteínas contienen más de un tipo de estructura secundaria en diferentes porcentajes y ésta confiere propiedades de solubilidad y estabilidad en la estructura tridimensional global de la proteína (Badui, 1999).

Estructura terciaria

Se le denomina así al acomodo espacial que adquiere la cadena polipeptídica después de un repliegamiento o enrollamiento ordenado. Las proteínas fibrosas tienen una estructura terciaria lineal, extendida mientras que las proteínas globulares presentan una forma enrollada, plegada y compacta estabilizada por los diferentes enlaces ilustrados en la figura 3 (Anglemyer y Montgomery, 1982; Badui, 1999). La estructura terciaria muestra un alto grado de organización y presenta interacciones similares a las que se encuentran en la estructura secundaria además de uniones covalentes (enlaces disulfuro, S-S) que son los principales responsables de la estabilidad de las proteínas (Anglemyer y Montgomery, 1982; Badui, 1999). Dentro de la estructura terciaria a veces pueden identificarse estructuras super-secundarias formadas por la interacción de dos o tres estructuras secundarias que pueden ser encontradas en diversas proteínas.

Figura 3
Enlaces que estabilizan la estructura secundaria y terciaria de las proteínas



(1), interacción electrostática; (2), puentes de hidrógeno; (3), interacción hidrófoba; (4), interacción dipolo-dipolo y (5) enlace disulfuro.

Fuente: Badui, 1999.

Estructura cuaternaria

Esta estructura no existe en todos los polipéptidos y se refiere a la asociación de dos o más cadenas polipeptídicas con estructura terciaria (iguales o diferentes) a través de uniones débiles no covalentes, para formar un complejo proteico con actividad biológica específica (Badui, 1999); las cadenas polipeptídicas que participan en la formación de la estructura cuaternaria presentan su propia estructura primaria, secundaria y terciaria.

Las fuerzas o enlaces que estabilizan la estructura cuaternaria son los mismos que estabilizan a la estructura terciaria, exceptuando los enlaces disulfuro. Un ejemplo de estructura cuaternaria es el sistema actomiosina del músculo. La miosina y la actina son proteínas que constituyen los principales componentes de la miofibrilla. La miosina representa 55% (*m/m*) de la miofibrilla, con una masa de 475 KDa y posee seis subunidades que contribuyen a su estructura cuaternaria.

Desnaturalización de las proteínas

La desnaturalización de una proteína es la pérdida de la estructura nativa ocasionada por la ruptura de los enlaces internos que mantienen las estructuras secundaria, terciaria o cuaternaria. La desnaturalización implica un desdoblamiento de la cadena polipeptídica exponiendo los grupos *R* escondidos, lo que generalmente induce a un estado más inestable y con ello a una agregación entre cadenas adyacentes. En este proceso la estructura primaria permanece intacta ya que la desnaturalización no rompe los enlaces covalentes del esqueleto peptídico.

Los factores que pueden causar desnaturalización incluyen factores físicos como la temperatura y factores químicos como el pH, detergentes, fuerza iónica y los agentes oxidantes o los reductores que pueden alterar las uniones S-S. La desnaturalización ocasiona diversos efectos en la proteína, entre los cuales se pueden destacar:

- a) Cambios en las propiedades hidrodinámicas de la proteína: aumenta la viscosidad y disminuye el coeficiente de difusión.
- b) Una drástica disminución de su solubilidad, ya que los residuos hidrofóbicos del interior de la proteína son expuestos para interactuar con el solvente.
- c) Pérdida de las propiedades biológicas.

En muchos casos la desnaturalización es reversible en un proceso de renaturalización donde la proteína recupera su estructura nativa. Esta propiedad es de gran utilidad durante los procesos de aislamiento y purificación de proteínas, pues no todas exhiben este comportamiento. Cuando la desnaturalización conduce a la pérdida total de la solubilidad, la proteína precipita. La formación de agregados fuertemente hidrofóbicos impide su renaturalización y hacen irreversible el proceso.

Precipitación selectiva de las proteínas

En disolución acuosa, los residuos hidrófobos de los grupos *R* de los aminoácidos se acumulan en el interior de la estructura tridimensional en las proteínas globulares, mientras que en la superficie aparecen diversos grupos con carga eléctrica, en función del pH del medio. En torno a los grupos cargados, los dipolos del agua se orientan de acuerdo a su carga eléctrica, de tal manera que la proteína presenta una capa de solvatación formada por el agua de hidratación, que es el agua retenida por las cargas eléctricas de la superficie de las proteínas. Los aminoácidos polares sin

carga también se disponen en la superficie, donde interaccionan con el agua mediante puentes de hidrógeno (Cheftel y otros, 1989; Coultate, 1998). Cualquier factor que modifique la interacción de la proteína con el disolvente disminuye su estabilidad en disolución y provocará la precipitación.

Efecto de la fuerza iónica sobre la estructura de las proteínas

Un aumento de la fuerza iónica del medio (por ejemplo, por adición de sulfato de amonio o urea) también provoca una disminución en el grado de hidratación de los grupos iónicos superficiales de la proteína, ya que estos solutos compiten por el agua y rompen los puentes de hidrógeno o las interacciones electrostáticas y, como resultado, las moléculas proteicas se agregan y precipitan. En muchos casos, la precipitación provocada por el aumento de la fuerza iónica es reversible ya que mediante una diálisis se puede eliminar el exceso de soluto y recuperar tanto la estructura como la función original.

Efecto del pH sobre la estructura de las proteínas

Los iones H^+ y OH^- del agua provocan efectos similares en los grupos polares de las proteínas, pero además de afectar a la capa de solvatación de éstas, también afectan la carga eléctrica de los grupos ácidos y básicos de las cadenas laterales de los aminoácidos. Esta alteración de la carga superficial de las proteínas elimina las interacciones electrostáticas que estabilizan la estructura terciaria y por lo general provoca su precipitación. La solubilidad de una proteína es mínima en su punto isoeléctrico, ya que su carga neta es cero y desaparece cualquier fuerza de repulsión electrostática que pudiera dificultar la formación de agregados, por lo que todas las proteínas en su punto isoeléctrico, precipitan.

Efecto de la temperatura sobre la estructura de las proteínas

Cuando la temperatura es elevada aumenta la energía cinética de las moléculas con lo que se desorganiza la capa de solvatación de las proteínas y se desnaturalizan.

Asimismo, un aumento de la temperatura destruye las interacciones débiles y desorganiza las estructuras superiores de la proteína, de forma que el interior hidrofóbico interactúa con el medio acuoso y se produce la agregación y precipitación de la proteína desnaturalizada. Temperaturas extremas rompen los enlaces peptídicos o modifican su configuración, por lo que la proteína se ve afectada irreversiblemente.

Propiedades funcionales de las proteínas

Las propiedades funcionales son las características finales de un alimento, las cuales son determinadas por las cualidades fisicoquímicas de las proteínas. La mayor parte de las propiedades funcionales influyen sobre el carácter sensorial del alimento, en especial sobre la textura; las proteínas son responsables en gran medida de ésta, de las características reológicas y de las alteraciones físicas o químicas que ocurren durante la preparación, transformación o almacenamiento de los alimentos, dando como resultado cambios en la calidad sensorial y nutricional que lleva consigo el rechazo o la aceptación de un producto.

Las propiedades funcionales pueden clasificarse de la siguiente forma (tabla 1):

- Propiedades de hidratación (interacciones proteína-agua).
- Propiedades dependientes de interacciones proteína-proteína.
- Propiedades superficiales (Cheftel y otros, 1989).
- Sensoriales y otras (Badui, 1999).

Existen diversos métodos de laboratorio para determinar las propiedades funcionales de las proteínas; sin embargo, la extrapolación de estos datos a un sistema alimenticio no siempre es representativa. La mejor manera de obtener información sobre una determinada propiedad es usar la proteína en forma directa en el alimento y observar su comportamiento (Badui, 1999; Cheftel y otros, 1989).

Tabla 1
Propiedades funcionales de las proteínas empleadas en alimentos

<i>Propiedad</i>	<i>Función</i>
Hidratación	Dependientes de interacciones proteína-agua: solubilidad, dispersión, absorción de agua, retención de agua, adhesión, espesante, gelificante, viscosidad, formación de masas y propiedades reológicas en general.

Estructural y reológica	Dependientes de interacciones proteína-proteína: elasticidad, cohesión, formación de fibras, viscosidad, agregación, precipitación, gelificación y formación de redes tridimensionales.
Sensorial	Color, sabor, olor, textura, turbidez, arenosidad, etcétera.
Superficie	Dependientes de interacciones proteína-lípido: modificación de la tensión superficial, emulsificación, espumante, estabilización, formación de complejos lípido-proteicos.
Otras	Compatibilidad con aditivos, acción enzimática y modificación de propiedades de los alimentos.

Fuente: Badui, 1999.

Solubilidad de las proteínas

Las diferencias de solubilidad de las proteínas en distintos solventes es función de factores fisicoquímicos intrínsecos del polímero (peso molecular, estructuras secundaria y terciaria, forma, composición de los residuos de aminoácidos, ionización, etcétera). La hidrofobicidad de los polipéptidos influye en gran medida en la solubilidad y se considera que la hidrofobicidad aromática proveniente de aminoácidos como fenilalanina, tirosina y triptofano es más importante que la hidrofobicidad alifática (por ejemplo de la alanina, la isoleucina, la valina y la leucina). La solubilización implica que se establezca una fuerte interacción proteína-solvente; si esto no ocurre, se favorecerá la asociación proteína-proteína, que además de afectar la solubilización, puede incluso inducir la precipitación.

Existen diversos métodos para determinar esta funcionalidad de los polipéptidos, tales como los índices de solubilidad de nitrógeno, de dispersabilidad de la proteína, de proteína soluble en agua, etc., así como algunas modificaciones de éstos. Tales procedimientos también se emplean para medir la intensidad de los tratamientos térmicos a los que se somete una proteína, así como su desnaturalización. Mientras más dañado esté un polipéptido por efecto de la temperatura elevada, la desnaturalización es mayor y la proteína es más insoluble.

Capacidad de retención de agua

La conformación de una proteína en solución depende fundamentalmente de sus interacciones con el agua. La mayor parte de los alimentos son sistemas sólidos hidratados de tal forma que el comportamiento físico-químico y reológico de las

proteínas y los otros constituyentes del alimento está influenciado por la presencia de agua.

Las proteínas en estado seco se hidratan mediante sus aminoácidos hidrófilos y retienen una cantidad de agua que está en equilibrio con la humedad relativa del medio ambiente; a esta propiedad se le llama *capacidad de retención de agua*, o sencillamente *hidratación*. Al colocar la molécula hidratada en un recipiente con agua, ésta tenderá a saturar sus grupos hidrófilos con el disolvente; la velocidad de este proceso es diferente para cada proteína y las condiciones en las que se encuentre. En general, cuanto más desnaturalizada esté la proteína más difícil es la solubilización puesto que se facilitan las interacciones proteína-proteína y se promueve la precipitación. Según sea la relación de concentraciones del polipéptido y del agua, la solución puede adquirir diferentes grados de viscosidad; en ocasiones es posible establecer un gel mediante la creación de una red tridimensional de proteínas en la que queda atrapada el agua (Badui, 1999).

Factores tales como concentración, pH, temperatura, tiempo de exposición, fuerza iónica y presencia de otros constituyentes, afectan a las fuerzas que intervienen en las interacciones proteína-proteína y proteína-agua. La mayoría de las propiedades funcionales están determinadas por el equilibrio entre estas fuerzas.

Las variaciones de pH, al modificar la ionización y carga neta de la molécula proteica, alteran las fuerzas atractivas y repulsivas entre proteínas y la capacidad para asociarse con el agua. En el punto isoeléctrico las interacciones proteína-proteína son máximas y las proteínas asociadas y replegadas sobre ellas mismas manifiestan el mínimo de hidratación e hinchamiento. Generalmente, la fijación de agua por las proteínas decrece cuando la temperatura se eleva, debido a la disminución de la estabilidad de los puentes de hidrógeno. Durante el calentamiento se produce una desnaturalización y agregación que puede reducir la superficie de la molécula proteica y la disponibilidad de grupos polares para fijar el agua. Sin embargo, cuando se calientan proteínas de estructura muy compacta se produce una disociación y desdoblamiento de moléculas que puede ocasionar la exposición superficial de enlaces peptídicos y de cadenas laterales polares antes inactivos que mejoran la fijación del agua.

Por otro lado, diversas proteínas tales como las del lactosuero pueden sufrir una gelificación irreversible cuando se calientan. Si el gel se deshidrata inmediatamente la proteína manifestará una mejor capacidad de absorción del agua, debido al aumento de las fuerzas capilares en la red proteica insoluble. El tamaño, la porosidad superficial y porosidad interna de las partículas proteicas deshidratadas también influyen en la velocidad e intensidad de la absorción del agua.

La naturaleza y concentración de los iones tienen efectos significativos sobre la absorción de agua, hinchazón y solubilidad de las proteínas. Por lo general, hay enlaces competitivos entre agua, sales y grupos laterales de aminoácidos. La deshidratación de las proteínas puede aumentar en soluciones salinas de baja concentración, pero en concentraciones salinas altas, predominan las interacciones agua-sal, en detrimento de las interacciones agua-proteína, lo que origina una “deshidratación” de estas últimas.

Estructura muscular

Los músculos de mamíferos, aves y peces presentan muchas similitudes respecto a su estructura, composición y función biológica. La unidad repetitiva del músculo es la célula denominada *fibra muscular* que tiene forma alargada elipsoidal. La membrana celular se denomina *sarcolema* y el líquido intracelular *sarcoplasma*. El sarcolema se encuentra rodeado por tejido conectivo. Las células se agrupan en haces rodeados también de tejido conectivo y varios haces integran un músculo.

Las proteínas del músculo se pueden clasificar por su solubilidad. Las proteínas sarcoplásmicas permanecen solubles en el sarcolema (líquido intracelular) y pueden ser extraídas por dilución con agua o soluciones salinas diluidas y está constituida, entre otras, por enzimas y el pigmento muscular mioglobina. En tanto que las proteínas insolubles en agua o soluciones salinas incluyen proteínas del tejido conectivo, proteínas de la membrana y proteínas contráctiles (Fennema, 1993). Las proteínas contráctiles o miofibrilares son solubles en soluciones salinas de elevada fuerza iónica, tales como el cloruro de sodio en concentraciones de 0.4 a 0.6 M (2 a 3% de sal). Las proteínas del tejido conectivo son insolubles tanto en agua como en soluciones salinas, pero se hidrolizan durante la cocción.

El contenido de proteínas del músculo varía de 12 a 20% dependiendo del animal y de la especie. La concentración de proteínas sarcoplásmicas, miofibrilares y de tejido conectivo varía entre peces y animales terrestres (tabla 2). En general los peces poseen una mayor cantidad de proteínas miofibrilares y menor cantidad en proteínas de tejido conectivo (Forrest y otros, 1979; Suzuki, 1987).

Proteínas sarcoplásmicas

Estas son las proteínas contenidas en el citoplasma de la célula muscular. El tejido muscular, dependiendo de la especie, contiene comúnmente alrededor de 55 mg

de proteínas solubles por gramo de peso fresco, lo que representa del 16 al 35% de la proteína muscular total, es decir de 3 a 5% del peso húmedo del músculo. Este grupo de proteínas esta constituido por alrededor de 100 sistemas proteicos, primordialmente por mioglobina, enzimas glicolíticas, mitocondriales y lisosómicas, además de lipoproteínas, entre otras.

Tabla 2
Composición porcentual proteica de diferentes vertebrados

<i>Animal</i>	<i>Sarcoplásmica (%)</i>	<i>Miofibrilar (%)</i>	<i>Tejido conectivo (%)</i>
Bacalao	21	76	3
Carpa	23-25	70-72	5
Lenguado	18-24	73-79	3
Conejo	16-28	39-68	16-28
Res	16-28	39-68	16-28

Fuente: Suzuki, 1981.

Debido a sus propiedades, permanecen en solución en el músculo y pueden ser extraídas con agua o soluciones salinas de fuerza iónica menor a 0.1 M, a pH neutro o cercano a la neutralidad. Aunque varían en sus funciones biológicas, las proteínas en esta fracción parecen compartir muchas características fisicoquímicas generales, incluyendo un peso molecular medio, conformación globular y baja viscosidad. Sin embargo, difieren en algunas propiedades, entre ellas la carga, lo que permite la separación e identificación por técnicas electroforéticas y la susceptibilidad a la desnaturalización.

Al calentar el músculo de pescado, las proteínas sarcoplásmicas se coagulan por el calor y se adhieren a las miofibrilares. Estas proteínas pueden tener un efecto adverso en la gelificación en productos cárnicos, ya que interfieren en la formación de la red tridimensional que estructura los geles de proteínas miofibrilares afectando su fuerza y deformación. Las proteínas sarcoplásmicas tampoco presentan buena capacidad de retención de agua. Este conocimiento es importante en la elaboración de productos de pescado, ya que se emplean lavados con agua fría para extraer las proteínas sarcoplásmicas, mejorando el color del producto final por la extracción del pigmento y de la textura de los geles al reducir su concentración en el producto final.

Proteínas miofibrilares

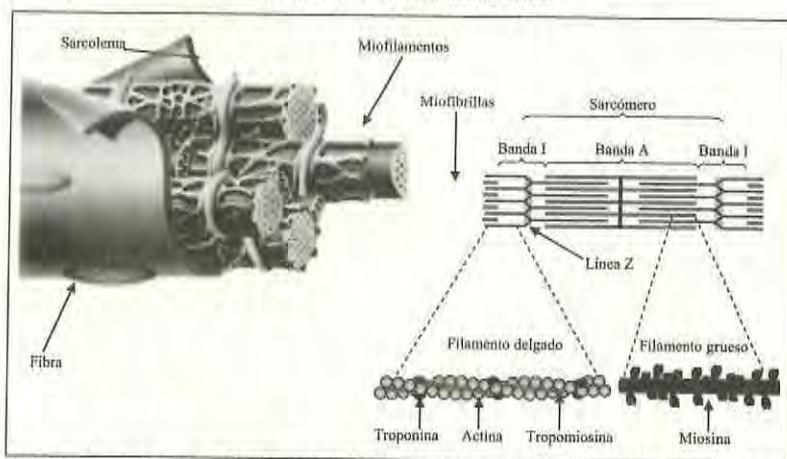
Las proteínas miofibrilares son aquellas que componen el aparato contráctil o miofibrilla de la célula del músculo, destacando por su abundancia actina, miosina, tropomiosina y troponina. Estas proteínas representan alrededor del 55 al 60% de la proteína muscular, lo que representa, aproximadamente 10% del peso húmedo del músculo esquelético (115 mg/g de músculo). Este porcentaje suele ser más alto en peces. Para ser extraídas requieren soluciones salinas de elevada fuerza iónica. Una vez extraídas, muchas de ellas son solubles en agua pura o en soluciones salinas de baja fuerza iónica. En conjunto, forman las miofibrillas que a su vez constituyen las fibras musculares (células del músculo) y pueden clasificarse en contráctiles, reguladoras y estructurales, de acuerdo con su función fisiológica (Conell, 1970; Goll y otros, 1977; Toyoda y otros, 1992; Nakai y Li-Chan, 1988). Las miofibrillas presentan dos regiones: la banda *A* y la banda *I*. La primera está compuesta por dos miofilamentos, grueso y delgado, por lo que es más oscura. La banda *I*, sólo se compone de filamentos delgados, incluyendo la llamada línea *Z*, que le confiere su única franja oscura. La región incluida entre dos líneas *Z*, se denomina *sarcómero* y es la unidad repetitiva que permite la contracción muscular (figura 4).

Las fibras musculares suelen tener una longitud inferior a 20 mm y 0.02 a 1.0 mm de diámetro. Cada fibra está rodeada por una membrana llamada *sarcolema*, que contiene finas fibrillas colágenas, las cuales se funden con las miocomata en la unión miotomo-miocomata.

Una fibra muscular contiene todos los componentes típicos de las células de un organismo eucariótico. Sin embargo, la mayor parte del volumen celular está ocupado por un manojo de miofibrillas, cada una hasta de 5 µm de diámetro, que discurren en paralelo al eje longitudinal de la fibra (figura 4). Las miofibrillas están segmentadas en sarcómeros constituidos en miofilamentos y limitados por líneas *Z*. Las interacciones de los miofilamentos son la base de la contracción muscular y de la rigidez que adquiere el cuerpo post mortem (Sikorski, 1994)

La actina, miosina, tropomiosina y troponina son las proteínas que intervienen en la contracción muscular por lo que se les conoce como proteínas contráctiles. La actina y la miosina son las más abundantes (Nakai y Li-Chan, 1988), (tabla 3) y constituyen los filamentos grueso y delgado de las miofibrillas, respectivamente. La miosina establece enlaces cruzados entre los filamentos y estos son los que generan la fuerza contráctil durante la contracción.

Figura 4
Estructura del músculo



Fuente: disponible en <http://magisnet.files.wordpress.com/2007/04/organaizacion.jpg>; consultado en febrero de 2008.

Tabla 3
Proteínas miofibrilares en sistemas musculares

<i>Proteína</i>	<i>% (peso/peso)</i>
Miosina	48
Actina	24
Tritina	8
Tropomiosina	5
Troponina	5
Nebulina	3
C-proteína	2
M-proteína	2

Fuente: Nakai y Li-Chan, 1988.

Las proteínas reguladoras no participan directamente en la formación de enlaces intermoleculares durante la interacción de las proteínas musculares, pero tienen importantes funciones en la regulación del proceso de contracción y relajación. Las más abundantes son la tropomiosina y la troponina (figura 4), ambas localizadas en los filamentos delgados. Su función principal es permitir la interacción de la actomiosina con los iones calcio. Otros ejemplos de proteínas regulatorias son las

actininas localizadas en los filamentos delgados y las proteínas *M*, creatin-quinasa y proteína *C* de los filamentos gruesos (Nakai y Li-Chan, 1988).

Las proteínas estructurales son: conectina (titina), nebulina, desmina (esqueletina), vimetina y sinemina. Morfológicamente sus filamentos se asemejan a las fibrillas de colágeno, pero en vez de extracelularmente, se ubican en forma intracelular y se piensa que su función es reforzar la estructura miofibrilar, por lo que se les ha nombrado andamio o columna vertebral. También se les nombra filamentos *S*, filamentos *T* o filamentos intermedios (Nakai y Li-Chan, 1988).

Las proteínas miofibrilares son las responsables de las propiedades funcionales y características texturales.

Miosina

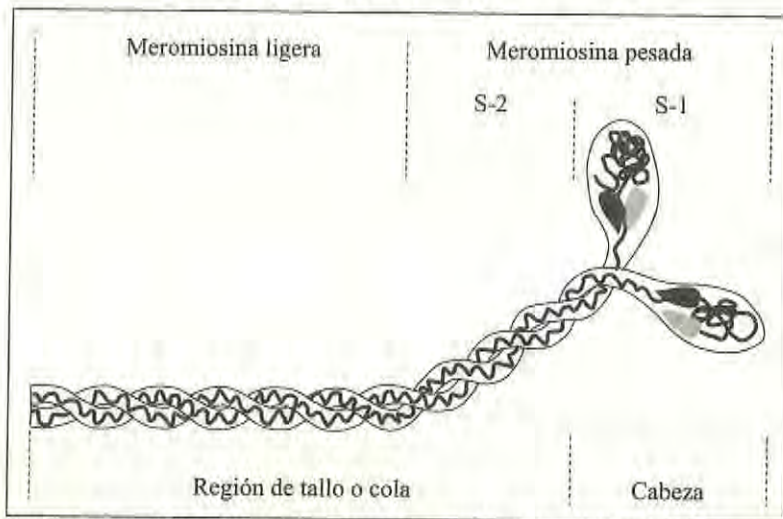
La miosina constituye la fracción más grande (tabla 3) de las proteínas miofibrilares. Es una proteína simétrica, alargada, con una longitud de 160 *nm* y peso molecular de 470 mil a 500 mil. Está formada por dos cadenas polipeptídicas idénticas, cada una con un alto grado de estructura secundaria del tipo alfa-hélice. Ambas cadenas se enrollan entre sí, para formar una súper hélice (figura 5). Sin embargo, cada cadena en su parte terminal presenta una conformación o replegamiento independiente, formándose dos estructuras globulares, denominadas *cabezas* que tienen forma de pera y contienen el grupo amino terminal. Cada una de estas cabezas de miosina, posee un sitio específico para interactuar con la actina y un sitio para ligar ATP, lo que le permite obtener energía.

De esta forma, la miosina presenta dos regiones estructurales diferentes, una región enrollada y alargada de naturaleza fibrosa, que recibe el nombre de *tallo* o *cola* y otra de estructura globular denominada *cabeza* o fracción *S-1* (figura 5).

La miosina puede extraerse del músculo con una solución salina de fuerza iónica de 0.3 M de cloruro de potasio y 0.15 M de fosfato a pH 6.5, ó 0.47 M de cloruro de potasio; 0.1 M de fosfato y 1.01 M de pirofosfato a pH 6.5. Si la extracción se realiza en un corto periodo se obtiene una miosina cruda, denominada *miosina A*. Si se realiza en periodos largos (12 horas), se obtiene una preparación de actomiosina cruda, denominada *miosina B* (Hultin, 1986).

La miosina en todos los vertebrados presenta propiedades estructurales y funcionales similares y difiere muy poco en su composición de aminoácidos (Nakai y Li-Chan, 1988). La miosina aislada a partir de músculos blancos y de músculos rojos presenta diferente actividad de ATPasa (Moore y otros, 1992); propiedades térmicas (Xiong y otros, 1987); capacidad de gelificación (Xiong, 1994) y secuencia de

Figura 5
Esquema de la molécula de miosina, donde se muestra a cabeza globular y la región de la cola



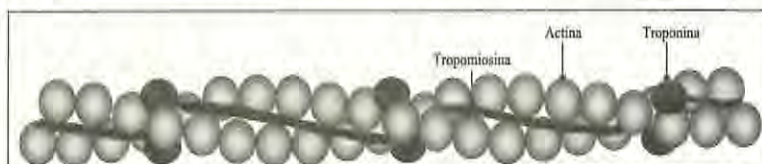
Fuente: disponible en <http://neuromuscular.wustl.edu/mother/myosin.htm>; consultado en febrero de 2008.

aminoácidos (Bandman, 1992; Moore y otros, 1992). También se han encontrado diferencias importantes desde el punto de vista de elaboración de productos cárnicos.

Actina

Es la segunda proteína más abundante del músculo, representa 24% de la proteína miofibrilar y es el principal componente de los filamentos delgados (Rosenthal, 1999). Su forma monomérica, denominada *actina G*, es globular, casi esférica, de diámetro aproximado de 5 nm y peso molecular de 42 mil Da. En estado independiente, cada molécula de proteína liga una molécula de nucleótido (ATP o ADP) y un catión divalente, calcio o magnesio. Sin embargo, bajo las condiciones fisiológicas musculares, se polimeriza para formar el complejo actina-ADP-F, denominado *actina F* (fibrilar o fibrosa) (figura 6). Los monómeros de G se unen entre sí, formando cadenas que asemejan collares de perlas. Dos cadenas se enrollan una con otra para formar una estructura helicoidal alargada con vuelta a la derecha, que es la columna principal de los filamentos delgados.

Figura 6
Filamentos constituidos de dos cadenas de actina enrolladas en doble hélice, incluyendo otras proteínas dispuestas a lo largo de hélice la troponina y la tropomiosina



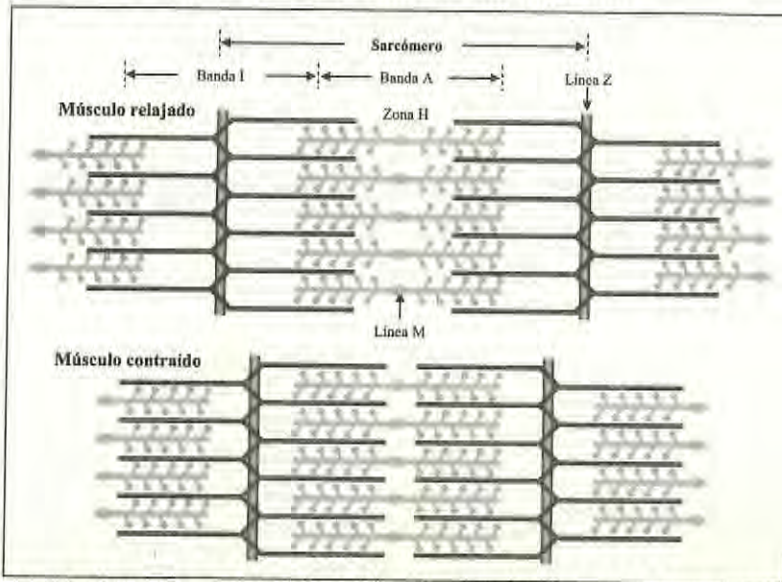
Fuente: disponible en www.unm.edu/~jimmy/thin_filament.jpg; consultado en febrero de 2008.

Actomiosina

La interacción de la miosina y la *actina F* en los músculos de los animales vivos induce la formación del complejo proteínico denominado *actomiosina*. La actividad de este complejo proteínico es la base del mecanismo de contracción y relajación, que permite el movimiento muscular. En la contracción muscular intervienen reacciones complejas donde ocurre un desplazamiento de los filamentos delgados entre los filamentos gruesos, sin reducir la longitud de éstos (figura 7). La fuerza que permite este desplazamiento procede principalmente de la interacción de las cabezas de miosina sobre un lugar específico de fijación en la actina, después de una modificación estructural de las cabezas de miosina que origina una tracción de unos 10 *nm*. Las cabezas, una vez sueltas, toman su estructura inicial y se enganchan a un nuevo sitio del filamento de Actina, “tirando” de nuevo algunos *nm* y así sucesivamente (figura 7). Una cabeza realiza de 50 a 100 tracciones por segundo y la energía necesaria para la contracción proviene de la hidrólisis del ATP (Cheftel, 1989).

En animales recién sacrificados, los músculos aun en estado de pre-rigor, contienen altas concentraciones de actina y miosina; sin embargo, los cambios bioquímicos que se presentan durante el establecimiento del rigor mortis, conducen al agotamiento del ATP y a la formación irreversible de la actomiosina, es por ello, que esta proteína es la mas abundante en el músculo en post rigor. Dicha interacción proteica, también puede inducirse *in vitro*. Por otra parte, el empleo de ATP o ADP, en presencia de iones magnesio, permite la disociación de la actomiosina (Forrest y otros, 1979; Schut, 1976; Hultin, 1986).

Figura 7
Ejecución de la contracción muscular



Fuente: disponible en <http://len.wikipedia.org/wiki/file:sarcomore.svg>; consultado en febrero de 2008.

Proteínas del tejido conectivo

El tejido conectivo se localiza en la matriz extracelular y establece la unión de los músculos, órganos y otras estructuras, tanto entre sí, como con el esqueleto. Se encuentra recubriendo tendones, músculos, fibras musculares y fibras nerviosas. Este tejido se compone de una materia sin estructura llamada *sustancia intercalar*, en la que se encuentran embebidas las células y las fibras extracelulares. Las proteínas del tejido conectivo constituyen del 2 al 3 % de músculo, siendo el colágeno más del 40% de la materia seca de este tipo de proteínas seguido por la elastina y la reticulina. Esta última está compuesta por fibras pequeñas que forman redes delicadas en torno de células, vasos sanguíneos, estructuras neurales y epitelios, manteniéndolos en su sitio. La elastina, tiene un aspecto gomoso y se encuentra presente en todo organismo: ligamentos, paredes de las arterias y en forma de red en diversos órganos, incluidos los músculos. Sus fibras son elásticas y aunque difiere del colágeno en la composición de aminoácidos, tiene un porcentaje similar de glicina. Su gran contenido

de aminoácidos no polares (aproximadamente 90%) y los enlaces entre aminoácidos de desmosina que presenta, le confieren una extraordinaria insolubilidad.

El colágeno es una glucoproteína con estructura fibrilar que consta de un número variable de fibrillas dispuestas paralelamente y es la principal proteína estructural del tejido conectivo; es el componente en mayor proporción de tendones y ligamentos y se encuentra en bajas concentraciones en huesos y cartílagos. Después de la miosina y la actina, es la proteína más abundante del organismo animal e influye en la textura de la carne (Nakai y Li-Chan, 1988) pues sus fibrillas son casi inextensibles, lo que le proporciona una gran fuerza tensora. No se distribuye uniformemente en los músculos esqueléticos, dado que su contenido aumenta con la actividad física, por lo que hay más colágeno en las extremidades que en el dorso, lo que hace que estos músculos sean más suaves.

La existencia de puentes o enlaces intermoleculares en las fibras de colágeno le dan una relativa insolubilidad y una gran fuerza tensora; tales puentes se presentan en menor número y son más fáciles de cortar en animales jóvenes que en adultos. Con la edad se estabilizan los puentes, disminuyendo con ello la solubilidad (Forrest y otros, 1979).

En aves y mamíferos, la cantidad y grado de solubilidad del colágeno tiene una importante influencia en las propiedades texturales del músculo. Sin embargo, en pescados el colágeno no es abundante, representando 3% de la proteína total en gadoideos y hasta 10% en elasmobranquios (Conell, 1970). Además, es fácilmente suavizado por procedimientos normales de cocimiento, por lo que no se considera un factor importante en la textura final del alimento, recibiendo poca atención. El ablandamiento del colágeno por cocción se debe a la hidrólisis parcial, transformándolo en gelatina (Suzuki, 1987; Hultin, 1986).

Particularidades del sistema proteico del músculo de pescado

Los peces son vertebrados acuáticos de sangre fría dotados de una respiración branquial y provista de aletas. Son el grupo más numeroso entre los vertebrados vivientes (42.5 por ciento). En la actualidad existen aproximadamente 20 mil especies de peces, de las cuales alrededor del 97% son peces óseos y el resto son peces cartilaginosos y ciclóstomos. El 60% de las formas viven en el mar y el 40% en las aguas dulces.

El músculo de pescado se puede comparar favorablemente con otros alimentos de origen animal tales como la carne de los animales de abasto, los huevos y la leche, debido a su alto contenido de proteína de alto valor biológico, de grasa y de vitaminas

liposolubles. Sin embargo desde el punto de vista de su obtención, conservación y procesado, los productos marinos difieren en gran manera de los animales de abasto, ya que si se compara con éstos, cuya producción se puede controlar, los primeros llevan consigo muchos problemas relacionados con su dificultad de distribución debido a que son muy perecederos.

Composición del músculo de pescado

El músculo de los peces tiene muchas semejanzas con el de los mamíferos en cuanto a su estructura, función y valor nutricional, pero difiere en que sus proteínas no tienen la estabilidad de las de aquéllos. Las proteínas del pescado pueden alterarse (degradación, desnaturalización y coagulación) durante la manipulación del producto, lo que se debe fundamentalmente a la naturaleza de la miosina. Estas variaciones se atribuyen a la temperatura corporal de la especie considerada, de tal forma que la miosina que procede de especies con sangre caliente es más estable que la de los peces con sangre fría y que habitan en zonas de aguas frías (Anglemier y Montgomery, 1982).

Cheftel y otros (1989) mencionan que aunque existen numerosas analogías entre el músculo del pescado y el de los animales de sangre caliente; las principales diferencias son:

1. El contenido del tejido conjuntivo es menor en el músculo de pescado; las proteínas del estroma representan del 3 al 10% de las proteínas totales.
2. La temperatura de gelatinización del colágeno del pescado es una decena de grados inferior al de la carne.
3. Las fibras musculares del pescado son cortas y organizadas en laminillas.
4. La miosina, que representa 40% de las proteínas totales, presenta dificultad al ser separada de la actina (20 por ciento). Esta proteína es más sensible a la desnaturalización (calor-secado) y a la proteólisis que la miosina de los animales de sangre caliente.
5. La rigidez cadavérica y la maduración son fenómenos relativamente rápidos en el pescado, de tal forma que a 0 °C ocurren a 5 y 30 horas, respectivamente. El descenso posmortem del pH es menor, es decir de 7 a 6.2 lo que confiere al pescado una inestabilidad microbiológica mayor.

Resulta de gran importancia el hecho de que en el pescado existan dos tipos de tejidos musculares: el blanco o claro y el rojo u oscuro asociados con la velocidad o resistencia de natación. Generalmente el tejido muscular del pez es claro pero en

muchas especies la porción de músculo oscuro es importante. El músculo oscuro se localiza debajo de la piel a lo largo de la línea lateral en los flancos del cuerpo del animal y está relacionado con la natación sostenida. La proporción entre músculo claro y oscuro varía con la actividad del pez. En los pelágicos que nadan más o menos de forma continua (arenque, sardina y caballa), hasta 48% del peso del músculo puede corresponder al oscuro. En los peces demersales (merluza, bacalao) que se alimentan en el fondo del mar y se mueven sólo esporádicamente, la cantidad de músculo oscuro es muy pequeña.

Existen muchas diferencias en la composición química de los dos tipos de músculo, destacando el mayor contenido de grasa, mioglobina y glucógeno en el músculo oscuro. De manera generalizada, se puede decir que el tejido muscular del pez constituye del 40 al 60% del total del animal y representa la principal porción comestible (Ordóñez y otros, 1998).

El valor biológico de la proteína es equivalente al de la carne de los animales de sangre caliente. La proporción de proteína bruta del pescado es por lo general del 17 al 20%; las proporciones de grasa y agua oscilan dentro de amplios límites. Hay peces muy magros, con cifras de grasa del 0.1 al 0.3% (bacalao), peces muy grasos (anguila, arenque, atún) con un contenido en grasa del 16 al 26% y peces con porcentajes medios de grasa.

El contenido de nitrógeno proteico en el músculo del pescado es del 2 a 3 por ciento. Atendiendo a su composición en aminoácidos, comparada con la carne de res y la caseína se observa que es una proteína de alto valor biológico. Las proteínas del sarcoplasma constituyen del 16 al 22% de la proteína total. Las proteínas del sistema contráctil suponen aproximadamente 75% y las del tejido conjuntivo entre 3% y 10% dependiendo de la especie.

Las proteínas del músculo se componen de proteínas sarcoplásmicas que se localizan en el plasma muscular, proteínas miofibrilares y proteínas del tejido conectivo que forman parte del estroma. Las proteínas sarcoplásmicas representan alrededor del 20 al 30% del total de proteínas, están formadas por muchos tipos de proteínas solubles en agua o soluciones salinas débiles y su importancia radica en que la mayoría tienen actividad enzimática. Son llamadas en conjunto miógeno, que se puede obtener simplemente aplicando presión sobre el músculo de pescado o por extracción con soluciones salinas de baja fuerza iónica.

El contenido en proteínas sarcoplásmicas del músculo de pescado, como mioglobina y citocromo C, varía con la especie, pero por lo general es más alta en pescados pelágicos tales como la sardina y la caballa e inferior en los demersales tales como la platija. Al calentar el músculo de pescado, las proteínas sarcoplásmicas se coagulan por el calor y se adhieren a las miofibrilares.

Las proteínas miofibrilares a su vez son las que forman las miofibrillas e incluyen miosina, actina y proteínas reguladoras tales como tropomiosina, troponina y actina. Las proteínas miofibrilares representan del 65 al 77% de las proteínas totales en el músculo de pescado, tasa superior que en la carne de los animales de abasto y ocupan un lugar de gran importancia desde el punto de vista nutritivo y tecnológico pues participan en la coagulación y formación de geles cuando se procesa el músculo de pescado. En el pescado existe una clara evidencia de que los cambios que alteran la textura del pescado son el resultado directo de los cambios que tienen lugar en las proteínas miofibrilares.

Las proteínas del tejido conectivo también son de importancia en la textura del pescado; su cantidad es casi siempre menor que en la carne de los mamíferos variando del 3% en los gádidos (merluza, bacalao), al 10% en los elasmobranquios (rayas, tiburones). La temperatura de gelatinización del colágeno del pescado es inferior a la de los mamíferos. Los músculos del pescado están divididos por delgadas membranas de tejido conectivo (las denominadas miocomata) en segmentos llamados miotomos. El número de miotomos corresponde al número de vértebras y cada uno de ellos está compuesto por numerosas células llamadas fibras musculares, que discurren en paralelo a lo largo del eje longitudinal del pez.

Gelificación de proteínas

El término *gelificación*, se refiere al cambio del estado líquido o pastoso, a un estado sólido viscoelástico. Las características estructurales de los geles inducidos térmicamente, son típicos de los materiales semisólidos, los cuales poseen diferentes grados de rigidez, elasticidad, plasticidad y fragilidad. Se denomina *gelificación* cuando las moléculas desnaturalizadas se agregan para formar una red proteica ordenada.

Los geles son sistemas formados por una red continua de macromoléculas, interconectadas y entrelazadas en una estructura tridimensional, en la que la fase continua de agua queda atrapada. Se pueden concebir como un estado en el que las macromoléculas coloidales se orientan, formando fibrillas, que al interaccionar entre ellas, constituyen un cuerpo básico o esqueleto, el cual sirve de soporte para contener el agua que las rodea. Los principales geles que se encuentran en alimentos están compuestos por distintos polisacáridos y proteínas, que gelifican con diferente grado de elasticidad y rigidez, por lo tanto, se emplean de acuerdo a las necesidades requeridas (Badui, 1999; Cheftel y otros, 1989).

La capacidad de gelificación es una propiedad funcional muy importante para muchas proteínas. Tiene un papel fundamental en la preparación de numerosos

alimentos, entre los cuales hay diversos productos lácteos; clara de huevo coagulada; los geles (de gelatina); diversos productos calentados a base de carne o pescado triturados; los geles proteicos de soya; las proteínas vegetales texturizadas por extrusión o triturado y las pastas de panadería.

La gelificación proteica no se aplica solamente para la formación de geles sólidos viscolásticos, sino también para mejorar la absorción de agua, el espesado, la unión de partículas (adhesión) y para estabilizar emulsiones y espumas. En general, aun cuando las condiciones prácticas para la gelificación de las diversas proteínas están bien establecidas, no se logra fácilmente el gel óptimo a causa de factores ambientales, pretratamientos de la proteína o empleo de mezclas de proteína.

En la mayoría de los casos es indispensable un tratamiento térmico para conseguir la gelificación. Puede ser necesario un enfriamiento posterior y a veces, resulta aconsejable una acidificación ligera. Así mismo, puede ser necesaria la adición de sales, concretamente iones de calcio, lo que aumenta la velocidad de gelificación y la firmeza de gel (proteínas de soya, lactosuero y suero albúmina). No obstante, algunas proteínas pueden gelificar sin calentamiento, sólo mediante una hidrólisis enzimática moderada, una simple adición de iones calcio, o una alcalinización seguida de un retorno a la neutralidad o al pH isoelectrico.

Mientras que se pueden formar numerosos geles a partir de proteínas en solución, también se pueden formar geles de las dispersiones acuosas o salinas de proteínas insolubles o poco solubles como es el caso de las proteínas miofibrilares; es decir, la solubilidad proteica no siempre es indispensable para la gelificación (Cheftel y otros, 1989).

Mecanismos involucrados en la gelificación

Aún no se conoce totalmente el mecanismo y las interacciones que participan en la formación de la red proteica tridimensional característica de los geles. No obstante, la mayoría de los estudios señalan la necesidad de una desnaturalización y desdoblamiento de la proteína como etapa previa a la interacción ordenada proteína-proteína y agregación.

El mecanismo de gelificación, la estructura del gel y las propiedades del mismo son altamente dependientes de la naturaleza y de la concentración del coloide, la concentración de sales, el pH y la temperatura del sistema. La formación de la red proteica se considera como un resultado del equilibrio entre las interacciones proteína-proteína, interacciones proteína-disolvente (agua) y fuerzas atractivas y repulsivas entre cadenas polipeptídicas próximas.

Se sabe que las fuerzas de atracción se deben a las interacciones hidrófobas (incrementadas a temperaturas elevadas); electroestáticas (enlaces con los iones calcio y otros iones divalentes); puentes de hidrógeno (aumentados en cantidad y estabilidad por enfriamiento) y las uniones disulfuro. La incidencia de cada tipo de interacción varía en función de la naturaleza de la proteína, las condiciones del medio y las etapas del proceso de gelificación. Las repulsiones electrostáticas, especialmente a valores de pH alejados del punto isoelectrico y las interacciones proteína-agua tienden a mantener separadas las cadenas polipeptídicas. Las atracciones proteicas intermoleculares y la gelificación ocurren más rápido en concentraciones proteicas elevadas, dada su mayor probabilidad de contacto.

En el caso de concentraciones proteicas elevadas, es posible obtener una gelificación en condiciones ambientales que no sean especialmente favorables para la agregación. El establecimiento de uniones covalentes disulfuro conduce normalmente a la formación de geles térmicamente irreversibles. Algunas proteínas pueden formar geles cuando se calientan juntas (cogelificación) y otras pueden formar geles por interacciones con agentes polisacáridos gelificantes.

Para diferenciar la gelificación proteica de otros tipos de interacciones proteína-proteína, se proponen las siguientes definiciones de acuerdo a Hermansson (1979):

Asociación: se refiere a cambios a nivel molecular, tales como interacciones monómero dímero, equilibrio de subunidades, etc. Estas interacciones están caracterizadas por enlaces débiles en sitios de unión específicos.

Agregación: es un término general para indicar interacciones proteína-proteína.

Floculación: la interacción entre moléculas de proteínas está determinada por el balance entre repulsiones electrostáticas y fuerzas de atracción de Van der Waals.

Coagulación: se usa para definir agregaciones al azar, las cuales incluyen desnaturalización de moléculas proteínicas.

Gelificación: es una agregación ordenada de moléculas proteicas, que involucra la formación de una red continua, la cual exhibe un cierto grado de ordenamiento. La estructura y las propiedades del gel están determinadas por la cinética que presentan los mecanismos de disociación, hinchamiento, solubilización, desnaturalización y agregación.

Gelificación de proteínas miofibrilares del pescado

La formación de geles requiere de la desnaturalización parcial de las proteínas a partir de los 50 a 55 °C (Bourgeois y Roux, 1986) con desplegamiento de las cadenas polipeptídicas que se asocian después para formar redes tridimensionales a través de puentes de hidrógeno, atracciones electrostáticas, fuerzas de Van der Waals, puentes

disulfuro e interacciones hidrofóbicas. Estas redes pueden retener principalmente agua y otros componentes del sistema.

El músculo de pescado presenta algunas propiedades específicas como la capacidad de gelificar a temperaturas de 4 a 40 °C, formar geles más elásticos y menor estabilidad al almacenamiento en congelación. Estas propiedades varían con la especie y se considera que están determinadas por características inherentes de la miosina (Misima y otros, 1990; Kamath y otros, 1992); se considera a la miosina como la proteína miofibrilar responsable de las propiedades funcionales (Ramírez, 1996).

Entre los parámetros críticos para el tipo de gel formado se encuentra la temperatura, el pH, la concentración de sal y proteína. Los geles con mejores propiedades son los formados por la miosina ya que es la proteína cárnica emulsionante por excelencia. Los geles formados por la miosina surgen como resultado de la aparición de agregaciones entre las cabezas y las colas de las moléculas de miosina y adquieren mayor firmeza en presencia de concentraciones salinas crecientes, al menos hasta 4 por ciento.

La sal juega un papel importante en la textura de productos cárnicos picados. Posiblemente se debe a que facilita la solubilización de las proteínas miofibrilares; en su ausencia la solubilización es incompleta y durante la cocción se pierde la textura característica del producto (Camberos y Fernández, 1998).

La gelificación de las proteínas miofibrilares implica tres etapas: solubilización, desnaturalización térmica y agregación ordenada (figura 7).

Solubilización

La solubilización de las proteínas se lleva a cabo con sales neutras como el cloruro de sodio y de potasio. La solubilización óptima se alcanza utilizando una concentración de 0.4 a 0.6M de cloruro de sodio, que corresponde de 2 a 3% de sal en base al peso de la carne y confiere un sabor agradable al paladar, lo cual permite obtener una pasta viscosa a través de un mezclado homogéneo.

Se considera que la sal que actúa rompiendo los enlaces electrostáticos intermoleculares que se presentan entre los grupos ácidos y básicos de los aminoácidos los cuales presentan carga positiva y negativa a pH de 6 a 7. Dentro de este tipo de interacciones, los puentes salinos que se forman entre grupos adyacentes carboxilos (COO^-) y amonio (NH_3^+), son los más importantes por requerirse de mayor energía para romperlos. Al adicionar esta sal neutra, los cationes (Na^+) y aniones (Cl^-) ya disociados en el agua, se asocian a los grupos cargados de la proteína desplazando las interacciones entre proteínas, lo que favorece la solubilización y dispersión de las

diferentes fracciones proteicas del músculo.

Desnaturalización térmica

La desnaturalización térmica de las proteínas miofibrilares ocasiona la transición irreversible del estado sol al estado gel. Esta etapa involucra cambios conformacionales de la proteína (desdoblamiento) originados por la ruptura de enlaces electrostáticos y puentes de hidrógeno que estabilizan la estructura proteica. Estos cambios permiten la exposición de los grupos hidrófobos que por lo general se encuentran ocultos en el interior de la molécula de la proteína y que son considerados responsables de la agregación proteica a altas temperaturas.

Agregación ordenada

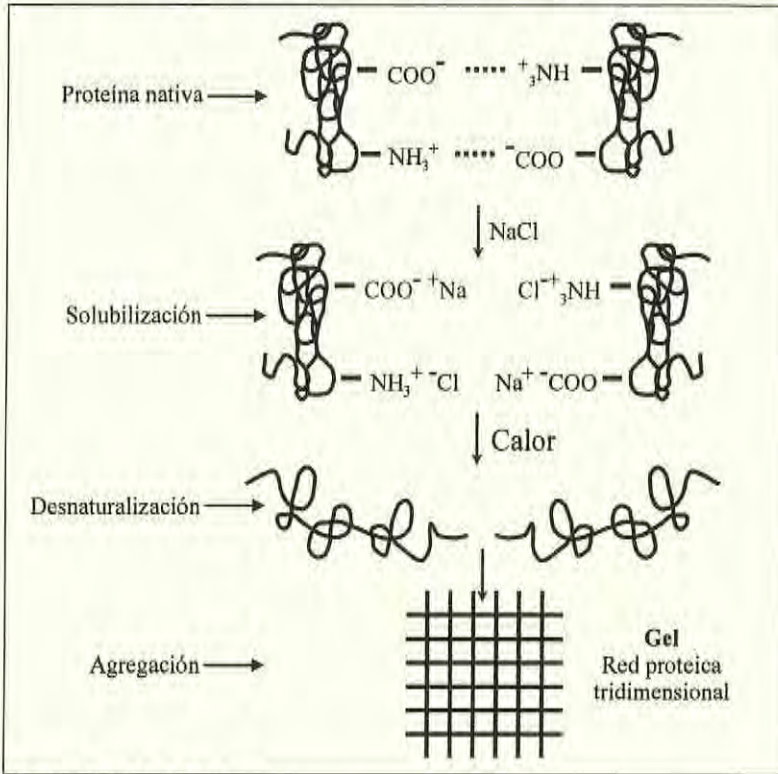
Es la etapa final que permite la obtención de un gel e involucra la formación de una estructura tridimensional estabilizada fuertemente por las siguientes interacciones moleculares (figura 8):

- Interacciones hidrofóbicas entre radicales apolares.
- Enlaces disulfuro, formados a partir de grupos sulfhidrilos provenientes de los radicales de cisteína.
- Interacciones electrostáticas entre aminoácidos con carga iónica.
- Puentes de hidrógeno.
- Enlaces covalentes no disulfuro.

Las interacciones electrostáticas y los puentes de hidrógeno son térmicamente inestables, por lo que se considera que su intervención en la formación de la red tridimensional durante el calentamiento es mínima. Sin embargo, estas interacciones desempeñan un papel importante en el enfriamiento ya que confieren tanto fuerza como capacidad de retención de agua al gel.

Las interacciones hidrofóbicas y enlaces disulfuro son termoestables, por lo que se consideran responsables de la formación de la red que estabiliza la estructura del gel durante la cocción. Los enlaces covalentes no disulfuro se presentan sólo en geles de pescado que se denominan *suwari* o *setting* y se obtienen a temperaturas de 0 a 40 °C. Las evidencias indican que son inducidos por la enzima transglutaminasa presente naturalmente en el músculo y que forma un enlace covalente iso-peptídico entre un radical amino de una lisina y el grupo carboxiamida de un radical de gluta-

Figura 8
Etapas generales en el proceso de gelificación



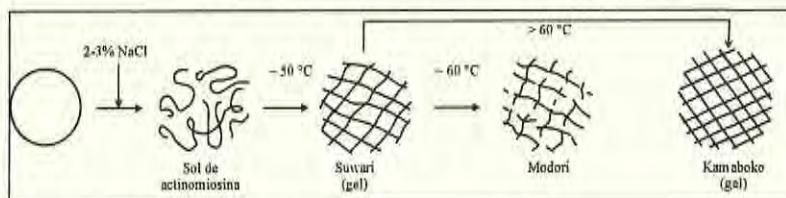
Fuente: Ramírez, 1996.

mina. El mecanismo de gelificación es semejante para todos los músculos de animales vertebrados, sin embargo, existen diferencias entre especies lo que ocasiona que los geles obtenidos difieran en sus propiedades de textura (Ramírez, 2001).

En la manufactura de productos reestructurados o embutidos, la gelificación de pastas de carne de pescado conteniendo NaCl (de 2 a 4%) e incubadas a bajas temperatura (de 5 a 40 °C) presentan el fenómeno llamado asentamiento o *suwari* el cual involucra la formación de redes de miosina debido a entrecruzamientos promovidos por la TGasa endógena (Haard y Simpson, 2000). Si la gelificación se lleva a cabo e temperaturas cercanas a 60 °C se forma un gel estructurado llamado *modori* mien-

tras que a temperaturas superiores a los 60 °C los geles presentan buena cohesividad y elasticidad y se denominan productos tipo *kamaboko* (figura 9) (Ramos y otros, 1999).

Figura 9
Proceso de formación de geles



Fuente: Ramos y otros, 1999.

Formación del gel de la pasta de pescado

El primer proceso para formar el gel en el kamaboko es convertir la proteína miofibrilar del músculo en un sol por la acción de la sal. Cuando se muele el músculo con 2 a 3 % de sal, se transforma en una pasta viscosa (figura 8). Este cambio se produce por la elevada retención de agua de la proteína miofibrilar dispersa.

Una característica del músculo de caballa y sardina es el descenso del pH en el estado de rigor hasta de 5.6 a 5.8% lo que no ocurre en pescados de carne blanca. Esta es la razón por la cual se necesita añadir sal a una concentración 0.6 M para obtener kamaboko de estas especies. Cuando se fabrica kamaboko, la cantidad de sal que se añade en relación con el peso del músculo es de 2.5 a 3.0%, por lo que esta diferencia de pH del músculo es despreciable.

En el pescado congelado, la formación del gel en el kamaboko se dificulta cuando la proteína se ha desnaturizado durante la conservación, produciéndose una disminución importante de la solubilidad de las proteínas miofibrilares. Este fenómeno también se presenta en algunas especies cuando no son muy frescas donde la solubilidad proteica se pierde, lo que impide la formación del gel en el kamaboko.

La actomiosina es el principal componente de la proteína miofibrilar que se solubiliza en soluciones salinas y también es el principal componente que forma el gel en el kamaboko. Existe una ligera diferencia en la textura del gel del kamaboko elaborado con miosina y el preparado con actomiosina, ya que este último tiene una textura ligeramente más dura (Okada, 1992).

Si la pasta de pescado que se obtiene al moler el músculo con sal se deja reposar durante determinado tiempo, se forma gradualmente un gel ligeramente transparente que se denomina *suwari*. Los distintos tipos de *suwari* varían según la materia prima.

En la fabricación industrial de kamaboko, por lo general se evita el setting y se aplica directamente el proceso de calentamiento. Durante éste, la pasta de pescado se convierte en el gel *suwari*. Migita y Okada (1952) obtuvieron el gel *suwari* adicionando al músculo de jurel diversas sales y desnaturizantes proteicos (hidrocloruro de guanidina y urea). Después de moler y dejar asentar la pasta, midieron la fuerza del gel. De este experimento los autores llegaron a la conclusión de que el gel *suwari* no se obtiene únicamente por la hidratación de las moléculas proteicas, sino también por la formación de un retículo formado por puentes de hidrógeno que se establece entre las moléculas de las proteínas miofibrilares.

El grado de *suwari* varía con la especie de pescado. Shimizu y otros (1981) observaron que existe una relación estrecha entre la estabilidad al calor de la actomiosina del músculo de pescado y la capacidad de formar el gel *suwari*, el cual se produce durante el calentamiento hasta una temperatura de 50 °C. Sin embargo, a temperaturas superiores a 60 °C parte de la estructura del gel se destruye; se le denomina *modori*. El grado de *modori* varía según la especie de pescado, lo que se ha comprobado midiendo la destrucción del gel *suwari*. Esto se ha hecho calentando el gel durante 20 min a 50 °C y durante 2 horas a 60 °C. El resultado demostró que en el caso de *Etrumeus micropus* y *Navodon modestus*, el gel se destruyó casi por completo, mientras que con lagarto (*Saurida undosquamis*) no se produjo *modori*, en tanto con *Cynias manazo*, pollo y *Makaira mazara* el gel *suwari* se tornó más resistente (Shimizu, 1976). Este fenómeno se ha asociado con la presencia de actividad de proteasas endógenas del músculo (An y otros, 1996; Ramírez y otros, 2001; Ramírez, 1998).

Fuentes consultadas

- An, H.; M. Y. Peters y T. A. Seymour (1996), "Roles of Endogenous Enzymes in Surimi Gelation", *Trends in Food Science and Technology*, núm. 7, pp. 321-327.
- Anglemier, A. F. y M. W. Montgomery (1982), *Introducción a la ciencia de los alimentos*, España, Reverté.
- Badui Dergal, S. (1999), *Química de los alimentos*, México, Pearson Educación.
- Bandman, E. (1992), "Contractile Protein Isoforms in Muscle Development", *Deve-*

- lopment Biology, núm. 154, pp. 273-283.
- Belitz, M. D. y W. Grosch (1985), "Químicos de alimentos", ed. Acribia Madrid.
- Bourgeois, C. M. y P. L. Roux (1986), *Proteínas animales. Extractos, concentrados y aislados en la alimentación humana*, México, El Manual Moderno.
- Camberos Rodríguez M. I. y L. Fernández Álvarez (1998), "Alimentos de origen animal", *Tecnología de los alimentos*, vol. II, Madrid, Síntesis.
- Cheftel, J. C.; J. L. Cuq. y D. Lorient (1989), *Desnaturalización de las proteínas. Propiedades funcionales de las proteínas*. Proteínas alimentarias, Zaragoza, Acribia, pp. 13-19; 37-43 y 63-71.
- Conell, J. J. (1970), "Fish Muscle Proteins and Some Effects on them of Processing" en *Proteins and their Reactions*, H. W. Schultz y A. F. Angleimer (eds.), Westport, The AVI Publishing.
- Coultate, T. P. (1998), *Manual de química y bioquímica de los alimentos*, 2a. ed., Zaragoza, Acribia.
- Fennema O. R. (1993), *Química de los alimentos*, Zaragoza, España, Acribia.
- Forrest, J. C.; E. D. Aberle; H. B. Hedrick; M. D. Judge y R. A. Merkel (1979), *Fundamentos de ciencia de la carne*, Zaragoza, Acribia.
- Goll, D. E.; R. M. Robson y M. H. Stromer (1977), "Muscle Proteins" en J. R. Whitaker y S.R. Tannenbaum (eds.), *Food Proteins*, Westport, The AVI Publishing.
- Haard, N. y B. Simpson (2000), *Seafood enzymes, Utilization and Influence on Postharvest Seafood Quality*, Marcel Dekker, New York.
- Hermansson, A. M. (1979), *Aggregation and Denaturizing Involved in Gel Formation. Functionality and Protein Structure*, Washington, Pour.
- Hultin, H. O. (1986), "Characteristics of Muscle Tissue", en O. R. Fennema (eds.), *Principles of Food Proteins*, part I, *Food Chemistry*, 2a. eed., New York, Marcel Dekker.
- Kamath, G.; T. C. Lanier; E. A. Foegeding y D. Hammann (1992), "Nondisulfide Covalent Cross-linking of Myosin Heavy Chain in Setting of Alaska Pollock and Atlantic Croaker Surimi", *Journal Food Science*, núm. 16, pp. 151-172.
- Migita, M. y M. Okada (1952), "Setting Phenomenon of Fish Muscle. Influence of Electrolytes. Bull", *Japan. Sot. Sci. Fish*, núm. 18, pp. 117-123.
- Misima, T.; Y. Yokoyama; K. Yano y M. Tsuchimoto (1990), "The Influence of Rearing Water Temperature on Properties of Ca²⁺ and Mg²⁺- ATPase Activity on Carp Myofibril", *Nippon Suisan Gakkashi*, núm. 56, p. 477.
- Moore, L. A.; M. J. Arrizubieta; W. E. Tidyman; L. A. Herman y E. Bandman (1992), "Analysis of the Chicken Fast Myosin Heavy Chain Family. Localization of Isoform-Specific Antibody Epitopes and Regions of Divergence", *J. Mol. Biol*, núm. 255, pp. 1143-1151.

- Nakai, S. y E. Li-Chan (1988), *Hydrophobic Interactions in Food Systems*, Florida, CRC.
- Okada, M. (1992), "History of surimi technology in Japan", en T. C. Lanier y C. Lee (eds.), New York, Surimi Technology, Marcel Dekker.
- Ordóñez, J. A. *et al.* (1998), *Tecnología de los alimentos*, vol. II, Madrid, Síntesis.
- Ramírez de León, J. A. (1998), *Mecanismos de pérdida de estabilidad de la miosina de pescado (Tilapia nilotica) durante el almacenamiento en congelación y estabilización por sacarosa*, tesis de doctorado, Querétaro, Universidad Autónoma de Querétaro.
- Ramírez, J. A.; A. M. Barrera; O. G. Morales y M. Vázquez (2001), "Effects of Xanthan and Locust Bean Gums on the Gelling Properties of Myofibrillar Protein, *Food Hydrocolloid*, núm. 16, vol. 1, pp. 11-16.
- Ramos Martínez, E., O. M. Morales González; J. A. Ramírez; F. L. García Carreño y J. G. Montejano Gaitan (1999), "Determination of the Modori Phenomenon and its Origin in Surimi of Five Fish Species from the Gulf of Mexico", *Food Science and Technology International*, núm. 5, pp. 397-405.
- Rosenthal A. J. (1999), "Textura de los alimentos, medida y percepción", Zaragoza, Acribia.
- Schut, J. (1976), "Meat Emulsions", en S. Friberg (ed.), *Food Emulsions*, New York, Marcel Dekker.
- Shimizu, Y.; R. Machida y S. Takenami (1981), "Species Variations in the Gel-Forming Characteristics of Fish Meat Paste, *Nippon Suisan Gakkaishi*, núm. 47, pp. 95-104.
- Sikorski, Z. E. (1994), *Tecnología de los productos del mar: recursos, composición nutritiva y conservación*, Zaragoza, Acribia.
- Suzuki T. (1987), *Características del músculo de pescado y de proteínas de pescado. Tecnología de las proteínas de pescado y Krill*, Zaragoza, Acribia.
- Toyoda, K.; I. Kimura; T. Fujita; S. F. Noguchi y C. M. Lee (1992), "The Surimi Manufacturing Process", en T. C. Lanier y C.M. Lee, (eds.), *Surimi Technology*, New York, Marcel Dekker.
- Xiong, Y. L. (1994), "Myofibrillar Protein from Different Muscle Fiber Types: Implications of Biochemical and Functional Properties in Meat Processing", *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, núm. 34, vol. 3, pp. 293-319.
- Xiong, Y. L.; C. J. Brekke y H. K. Leung (1987), "Thermal Denaturation of Muscle Proteins from Different Species and Muscle Types as Studied by Differential Scanning Calorimetry", *Can. Inst. Food Sci. Technology J.*, núm. 20, pp. 357-362.

Aditivos utilizados en la industria pesquera

*Simón Josías Téllez Luis
Virgilio Bocanegra García
Dalia Garza Cruz*

Los aditivos alimentarios son, por definición, sustancias añadidas de forma intencionada a los alimentos, sin el propósito de cambiar su valor nutritivo pero con el fin de modificar sus características para mejorar su adaptación al uso que se destinen o como auxiliares en las técnicas de elaboración y conservación. Existen aditivos que mejoran el color, otros que evitan la oxidación y el enranciamiento de los ácidos grasos del alimento, otros que influyen en la textura del producto, etcétera. Es importante diferenciar entre aditivos que se añaden intencionalmente a los alimentos e impurezas que aparecen por diversos motivos (procesos de elaboración, mezclas); pero sin haber deseado su adición.

En un principio los aditivos se consideraban sustancias inofensivas, pero se ha visto que existen ciertos compuestos “peligrosos” que pueden resultar tóxicos a largo plazo. Por ello se han estudiado a profundidad los diversos aditivos utilizados en la industria alimentaria y las legislaciones de varios países han publicado listas de aditivos considerados como admisibles para su uso en la preparación de alimentos.

En la actualidad la industria pesquera necesita desarrollar nuevos productos de calidad para incorporarse en el mercado de los materiales procesados, y de este modo se pueda contar con alternativas en la comercialización de los productos del mar proporcionando valor agregado, aumentando su rendimiento y la posibilidad de utilizar carne de especies de bajo valor comercial. En el presente capítulo se hablará de algunos aditivos que influyen en la textura y de otros que desempeñan una función importante en algunos procesos de conservación de productos pesqueros.

Transglutaminasa

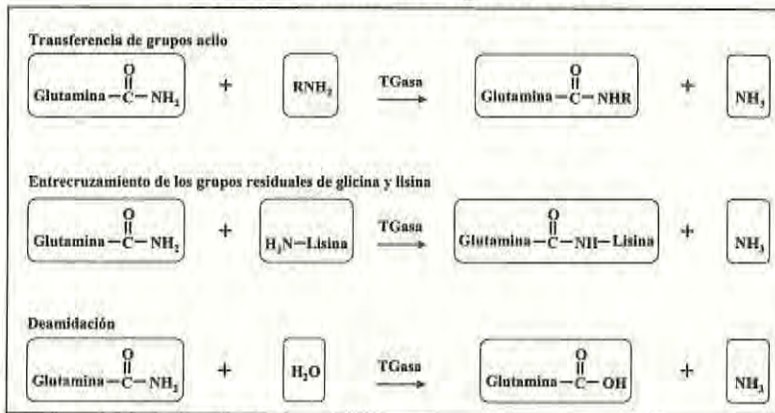
Las enzimas son sustancias proteicas de origen animal, vegetal o microbiano que se emplean en la elaboración de algunos alimentos. Entre las enzimas más comúnmente usadas se encuentran las proteasas, lipasas y amilasas que contribuyen a romper los componentes alimenticios; algunos ejemplos específicos son la renina, papaína, lipasa y tripsina, entre muchas otras. Existen algunas enzimas que no han sido completamente explotadas, como es el caso de la transglutaminasa (TGasa) (Hie-joon y Hyo, 1999), cuya habilidad única de modificar las propiedades funcionales de las proteínas mediante la formación de enlaces covalentes entrecruzados ha generado gran interés.

La nomenclatura para la transglutaminasa de acuerdo a la Enzyme Comision (EC) regida por la International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) es EC 2.3.2.13, corresponde a:

1. Dependiendo las reacciones que catalizan: 2. Transferasas.
2. Dependiendo de la función química sobre las cual actúan las enzimas: 2.3. Aciltransferasas.
3. Dependiendo el sitio de acción: 2.3.2. Aminoaciltransferasas.
4. Por la reacción específica que cataliza: 2.3.2.13. Protein-glutamin, gamma-glutamyl transferasa.

La TGasa es una enzima que cataliza reacciones de transferencia de acilos entre proteínas, en la que los residuos glutamina actúan como donadores de grupos γ -carboxiamida, actuando como aceptor el grupo ϵ - de los residuos de lisina, aunque en ausencia de éstos puede existir una reacción con aminas primarias o con el agua (figura 1). La reacción dominante de esta enzima es el entrecruzamiento de proteínas, resultando polímeros de alto peso molecular. En presencia de aminas primarias, la TGasa puede unir las aminas de las glutaminas de una proteína. En ausencia de residuos de lisina o de otras aminas primarias, el agua participa como el aceptor de protones dando como resultado la desamidación de las glutaminas (Kuraishi y otros, 2001). La formación de enlaces entrecruzados covalentes entre las proteínas es la base de la habilidad de TGasa para modificar las propiedades físicas de las la proteínas alimentarias.

Figura 1
Reacciones catalizadas por la TGasa



Fuente: adaptado de Zhu y otros (1995).

En el plasma del ser humano a la transglutaminasa se le conoce como el factor XIIIa en la cascada de coagulación de la sangre y ayuda a detener las hemorragias al catalizar el entrecruzamiento de las moléculas de fibrina (De Jong y Koppelman, 2002).

La TGasa de los mamíferos y plantas necesita la presencia de iones calcio como cofactor y en los alimentos que no lo contienen, es necesario adicionar calcio, lo que en algunos casos da como resultado la formación de complejos calcio-proteína. Para evitar la formación de estos complejos se utiliza transglutaminasa microbiana (MTGasa) que no requiere de iones calcio para llevar a cabo su función.

La producción de MTGasa a partir de microorganismos se desarrolló cuando Ando y otros (1989) investigaron 5 mil cepas aisladas de suelos de varios lugares. Entre los cultivos que producen esta enzima extracelular destacan los géneros de *Streptovorticillium sp* y *Streptomyces sp*. Las especies de *Streptovorticillium* en las que se ha encontrado la capacidad de producir MTGasa son (Zhu y otros, 1995):

- *Streptovorticillium* S-8112.
- *Streptovorticillium* griseocarneum.
- *Streptovorticillium* cinnamoneum.
- *Streptovorticillium* mobarense.

La MTGasa reacciona con más variedad de proteínas sustrato que la TGasa proveniente de los eritrocitos y del plasma de la sangre de los mamíferos. También se sabe que la actividad de la MTGasa es más alta que la de TGasa de acuerdo a los análisis cuantitativos realizados del entrecruzamiento de la caseína (Zheng y otros, 2002). La TGasa es activa en un rango de pH entre 5 y 9, y en un amplio intervalo de temperatura de (4 a 75 °C), siendo 50 °C su temperatura óptima, asimismo, se inactiva cuando se calienta a 80 °C x 15 min (Payne, 2000). Téllez y otros (2004) mencionan las ventajas de obtener MTGasa a partir del género *Streptoverticillum ladakanaum* por medio de fermentaciones de paja de sorgo como una alternativa para reducir los costos de producción de la enzima.

Reacciones de entrecruzamiento de proteínas

La transglutaminasa cataliza la polimerización y la unión cruzada o entrecruzamiento de proteínas, denominado en inglés *crosslinking* (Téllez y otros, 2004). Para que se lleve a cabo el entrecruzamiento proteína-proteína se necesita una exposición suficiente de los residuos de lisina y glutamina de las proteínas sustrato. Las proteínas no cárnicas como la caseína y la gelatina son fácilmente entrecruzadas por la MTGasa debido a su amplia disponibilidad de la lisina y glutamina presentes en su estructura. En contraste muchas otras proteínas de los alimentos tienen estructuras más rígidas que evitan el entrecruzamiento (Ramírez y otros, 2003).

El entrecruzamiento de las proteínas lleva a la formación de dímeros, trímeros y grandes polímeros de proteínas y la reacción de entrecruzamiento continuará hasta que ya no estén disponibles la glutamina y la lisina para la enzima (Uresti y otros, 2003). Cuando se usan temperaturas donde la enzima es estable en periodos prolongados, la formación de una red polimérica de proteínas podría estar eventualmente limitada por la accesibilidad de los aminoácidos y la movilidad de la MTGasa lo cual puede provocar un descenso paulatino de la actividad enzimática.

Uno de los principales efectos del entrecruzamiento de las proteínas por actividad de la enzima es la formación de un gel. La gelificación de las soluciones de proteína se ha realizado con caseína (Sakamoto y otros, 1995), clara de huevo, caseinato de sodio y gelatina. Debido a que el enlace isopeptídico es estable a temperaturas altas, el proceso de gelificación es irreversible (Ramírez y Xiong, 2003).

Cuando la TGasa se utiliza para ocasionar cambios en la funcionalidad de proteínas además de la gelificación directa o el incremento de la viscosidad, con frecuencia el solo entrecruzamiento es suficiente para obtener resultados óptimos. Por otro lado, cuando se preparan ingredientes proteicos, la formación de geles de polímeros

de alto peso molecular puede causar problemas en el procesamiento del material si se desea obtener un polvo de proteína seca. Para establecer el grado óptimo del entrecruzamiento, las muestras deben ser preparadas y probadas para la funcionalidad deseada. El calentamiento, el cambio en el pH o la adición de un inhibidor de TGasa, pueden ser útiles para detener la reacción de entrecruzamiento en el punto adecuado. El calentamiento es la técnica más adecuada para lograr la inactivación en el momento deseado (Ramírez, 2003).

El efecto del entrecruzamiento de proteínas debido a la acción de la transglutaminasa sobre las propiedades de los sistemas proteicos son lo siguientes:

Capacidad de gelificación. Una proteína incapaz de formar un gel por si misma se transforma en gel cuando se utiliza la transglutaminasa. En el caso de proteínas que gelifican, forman geles más firmes después del tratamiento con la enzima; sin embargo, no todas las proteínas reaccionan con la TGasa, y las que lo hacen presentan diferente reactividad en función de la disponibilidad de la lisina y glutamina contenidas en la cadena proteica.

Viscosidad. Cuando una proteína es polimerizada con el consecuente aumento en su peso molecular, la solución generalmente presenta un incremento de su viscosidad. Por esta razón, una solución de proteína tratada con transglutaminasa tiene mayor viscosidad. Sin embargo, debe evitarse la agregación excesiva que ocasiona precipitación por coagulación.

Estabilidad térmica. Las uniones covalentes formadas por la acción de la transglutaminasa son estables a los cambios de temperatura. La estabilidad térmica de la estructura de un gel proteico tratado con transglutaminasa es mejorada por los enlaces ϵ -(γ -Glutamina)-Lisina formados intra e intermolecularmente. Los geles que se forman por uniones hidrofóbicas son termo-reversibles. Por esta razón, cuando una gelatina se calienta a ciertas temperaturas, se obtiene una solución. Si un gel de gelatina se trata con transglutaminasa, algunas uniones ϵ -(γ -Glutamina)-Lisina son introducidas en su estructura y su termo estabilidad mejora notablemente.

Capacidad de retención de agua. Los geles tratados con transglutaminasa tienen capacidad de retener más agua, independientemente de los cambios de temperaturas o fuerzas físicas. Algunos geles alimenticios como las salchichas y los yogures con frecuencia presentan problemas de sinéresis que se manifiesta por la separación de la fase acuosa del resto de la estructura. La adición de gelatina a dichos geles mejora la capacidad de retención de agua; sin embargo cuando se utiliza la transglutaminasa se obtiene una mayor capacidad para retener agua.

Valor nutricional. Existen algunas sustancias químicas como el glutaldehído que actúan como promotores del entrecruzamiento proteico. Sin embargo, su uso no está permitido en los alimentos por consideraciones de seguridad. La polimerización por enzimas es mucho más aconsejable puesto que las transformaciones biológicas son consideradas mucho más seguras que las reacciones químicas.

Aplicaciones de la transglutaminasa en alimentos

La aplicación de la MTGasa en la industria de carnes es muy amplia pues actúa en todo tipo de material proteico. En la industria cárnica existe un gran interés de aumentar la producción comercial que incluye el desarrollo de métodos para la reestructuración de cortes de bajo valor, así como para el mejoramiento de la apariencia, sabor y textura. En el proceso de reestructuración se utiliza la MTGasa y por lo general involucra la reducción de tamaño, re-formación y ligado de los materiales (Motoki y Seguro, 1998).

El uso de la MTGasa en la industria de los alimentos marinos se inició en Japón con la manufactura de los productos derivados del surimi o de la pasta de pescado. Los primeros estudios realizados sobre las propiedades del surimi tratados con MTGasa fueron también en Japón, cuyo objetivo principal era evaluar el efecto de la MTGasa sobre las propiedades físicas del gel de surimi (Sakamoto y otros, 1995; Soeda y otros, 1996; Lee, 1997).

Las propiedades mecánicas como la dureza, deformación a la fractura, elasticidad y firmeza de los geles de surimi se incrementa por la acción de la transglutaminasa (Uresti y otros, 2003a). El mejoramiento en la textura puede ser controlado ajustando la cantidad de transglutaminasa y las condiciones de reacción considerando que una cantidad elevada de la enzima puede ocasionar un entrecruzamiento excesivo. La transglutaminasa microbiana se usa actualmente en la manufactura de los productos de surimi en Japón y se ha demostrado que cataliza la reacción de entrecruzamiento durante el proceso de su asentamiento, evidenciado por la desaparición de la cadena pesada de miosina en los geles de SDS-PAGE (Seguro y otros, 1995). El efecto de la transglutaminasa sobre los geles de surimi difiere con el tipo de pescado (Soeda y otros, 1996).

Hay otras aplicaciones de la transglutaminasa en los productos marinos donde los cambios en la textura de los productos de pescado precocidos y congelados se pueden evitar en alguna proporción por el impregnado de los materiales crudos con soluciones de transglutaminasa y caseinato (Sakai y otros, 1996).

Productos preparados de carne

En la manufactura del jamón la reacción de la MTGasa ocurre durante la etapa de reposo debido a que durante el cocimiento se alcanza una temperatura interna mayor a 80 °C y la MTGasa es inactivada. Las propiedades mecánicas o texturales como la fuerza de ruptura, la firmeza, la elasticidad o la flexibilidad del gel incrementan

en función de la cantidad de enzima adicionada de tal forma que controlando la cantidad, el tiempo de reacción y la temperatura, se obtiene la textura deseada en los productos cárnicos (Kolle y Savell, 2003).

La estructura fortificada de un embutido preparado con MTGasa es resistente al calentamiento a temperaturas elevadas y al congelamiento, debido a que los enlaces formados entre las proteínas son muy estables (Kuraishi y otros, 2001). En los embutidos en conserva la adición de transglutaminasa promueve un mejoramiento en la calidad de textura y en los jamones cocidos se obtiene una mejor textura y un mejor rebanado (Motoki y Seguro, 1998).

En el procesamiento de los alimentos preparados, especialmente productos cárnicos, algunas sales y fosfatos son adicionados para mejorar o incrementar la capacidad de retención de agua, el ligado, la consistencia y sobre todo la textura. Como actualmente la demanda de los productos saludables está en aumento, en el mercado se distribuyen cada vez más alimentos preparados con un contenido reducido de sales o fosfatos (Jiménez y otros, 2005). Sin embargo la textura y las propiedades físicas de estos alimentos saludables con bajo contenido en sal, está por debajo de los estándares de calidad. Cuando se usa MTGasa se puede obtener una mejor textura en los productos con bajo contenido en sal y fosfatos (Kuraishi y otros, 1996). Por ejemplo, la fuerza de ruptura del embutido bajo en sal con un contenido de la misma de 0.4 a 1.7% disminuyó 20%, pero la adición de MTGasa mejoró la textura y restauró la fuerza de gel.

Aun cuando el contenido de sodio se reduce casi una tercera parte en el embutido, la elasticidad se mantiene a través del uso de MTGasa. La pérdida de cohesividad y la capacidad de retención de agua sin fosfatos en los productos de carne son también recuperadas cuando se usa MTGasa, aunque ésta puede mejorar en cierto grado las propiedades físicas de los productos libres de fosfatos, es más difícil reemplazar totalmente las funciones de fosfato en los productos cárnicos (Motoki y Seguro, 1998).

Hidrocoloides

Químicamente los hidrocoloides se dividen en dos clases de acuerdo a su origen: polisacáridos y proteínas. Son sustancias ampliamente distribuidas en la naturaleza que tienen la capacidad de interactuar con una gran cantidad de compuestos y de capturar agua. Los hidrocoloides tienen una gran importancia tecnológica en la industria de alimentos debido a sus propiedades funcionales. Como característica principal y común se puede destacar que son moléculas altamente hidrofílicas que actúan sobre el agua que se encuentra libre en el medio donde se aplican, reduciendo su movilidad

y aumentando la viscosidad del medio. La estructura del polímero (lineal o ramificado, su grado de ramificación, etc.) es de gran importancia ya que de ella depende la capacidad de retención de agua y, por tanto, las características reológicas y de textura que impartirá al producto. Los hidrocoloides comúnmente utilizados en los alimentos son almidones, gelatina, goma guar, goma de garrofin, pectinas, alginato, carragenato, xantano, goma arábiga, derivados de celulosa, y en menor frecuencia, agar, gomas karaya y tragacanto (Cubero y otros, 2002; Smewing, 2001).

Durante la solubilización del hidrocoloide las moléculas se hidratan en las zonas amorfas o menos organizadas, lo que ocasiona una disminución en la fuerza de las uniones intermoleculares restantes y facilitan su posterior hidratación. En esta secuencia se obtiene un estado transitorio de gel, formado por las partículas hinchadas en función de las fuerzas de cohesión entre las macromoléculas. Una vez que las uniones intermoleculares son relativamente débiles, una elevación de temperatura o una agitación mecánica conseguirá que las moléculas del hidrocoloide se dispersen totalmente en la solución. Si las fuerzas de cohesión son muy elevadas, como en el caso del alginato o pectinato de calcio, únicamente se conseguirá una dispersión de las partículas hinchadas.

Los polisacáridos solubles contribuyen a propiedades como dureza, tersura, compacidad, capacidad espesante, viscosidad, adhesividad y buena palatabilidad de tal forma que permiten diseñar alimentos con formas y texturas específicas. Las moléculas de polisacáridos tienden a formar puentes de hidrógeno entre ellas, lo cual puede conducir a la formación de geles o a su fortalecimiento, como ocurre en los geles de pectina.

Pectinas

La pectina es un polisacárido natural y constituyente mayoritario de la pared celular en los vegetales. Se obtiene a partir de los restos de la preparación de jugo de naranja, limón y de la sidra. El nombre de la pectina se origina de la palabra griega *Pekos* (denso, espeso, coagulado) y es una sustancia mucilaginosa de las plantas superiores que se asocia con la celulosa y confiere a la pared celular la capacidad de absorber grandes cantidades de agua. Las pectinas, por definición, son los ácidos pectínicos con diferente grado de esterificación; son solubles en agua y tienen capacidad de formar geles en presencia de ácidos, sales y azúcares.

Dentro de la cáscara de la fruta existe una distribución de pectinas donde las de mayor grado de esterificación se encuentran en la parte más interna, mientras que las de menor grado se localizan en la periferia. Las pectinas tienen un papel esen-

cial en la estabilidad de la pared celular al actuar como material aglutinador y en solución coloidal contribuyen a la viscosidad de la pasta del tomate y estabilización de las partículas finas en el jugo de naranja, impidiendo que se separen. En frutas y verduras las sustancias pécticas son un factor importante que determina las características de textura, firmeza y calidad del producto.

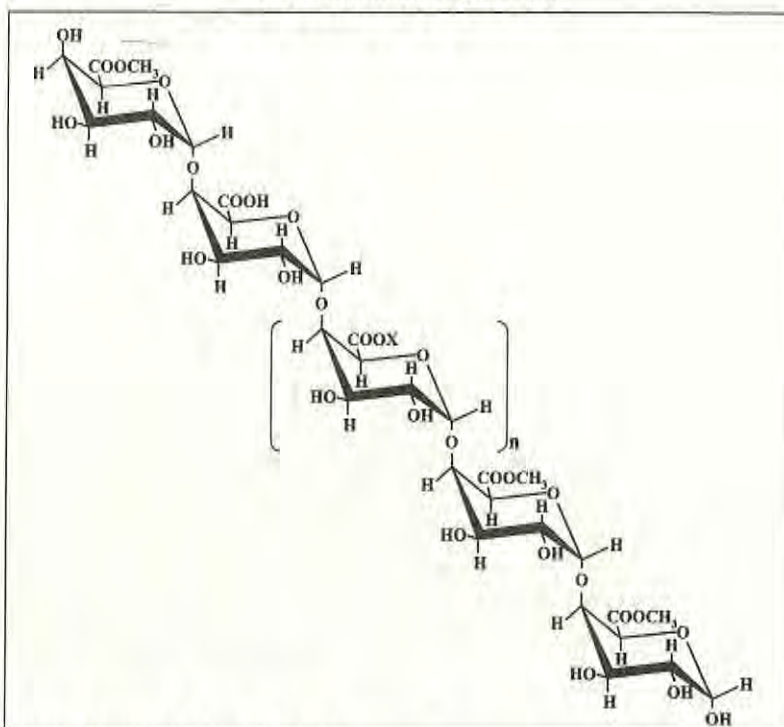
Estructura química de las pectinas

Químicamente la pectina es un compuesto formado por una cadena lineal de residuos de ácido α -D-galacturónico unidos por enlaces glucosídicos $\alpha(1-4)$, con los grupos carboxilo parcialmente esterificados con alcohol metílico y su peso molecular varía entre 20 mil y 400 mil *Da*. La característica química más importante de las pectinas es su contenido de grupos carboxilo que le imparten propiedades muy diferentes a las de otros carbohidratos que no tienen grupos ionizables (figura 2). Los carboxilos de las pectinas pueden encontrarse en forma no ionizada $-\text{COOH}$ a $\text{pH} < 3$; en forma ionizada COO^- a $\text{pH} > 3$ o metilados COOCH_3 (Badui, 1994) y en cada caso tienen diferente capacidad de interactuar con los otros constituyentes de los alimentos. Los grupos carboxilos ionizados son los que le imparten la mayor reactividad al polímero y muchas de las propiedades de estos carbohidratos están determinadas por la relación de concentración entre los carboxilos libres y los carboxilos metilados.

La viscosidad de las dispersiones de pectinas depende de factores como el peso molecular, el grado de esterificación, la concentración de sales de calcio, la presencia de azúcar y el pH del medio. El parámetro químico más importante es el grado de esterificación o de metilación (*M*), es decir, el número de grupos carboxilo esterificados por 100 grupos galacturónicos; esto permite distinguir dos grupos de pectinas: pectinas de alto metoxilo (figura 3) y pectinas de bajo metoxilo (figura 4).

Las pectinas de alto metoxilo (HM, $M > 55\%$) gelifican en un intervalo de pH de 2 a 3.5 y con 60 a 65% de sacarosa. Mediante estudios de difracción de rayos *X* se ha comprobado que los geles integrados de esta manera están estabilizados por un gran número de enlaces débiles; los carboxilos se encuentran protonados y estableciendo puentes de hidrógeno entre sí o con los hidroxilos de una molécula vecina de pectina o del disacárido. La adición del azúcar ejerce un efecto "deshidratante" sobre los polímeros, lo que ocasiona que se favorezcan las interacciones polisacárido-polisacárido de manera hidrófoba, y se forma una estructura tridimensional que rodea a las moléculas de sacarosa altamente hidratadas. En general, las pectinas más metoxiladas producen geles más rígidos y sólidos que los de menor esterificación.

Figura 2
Estructura de la pectina

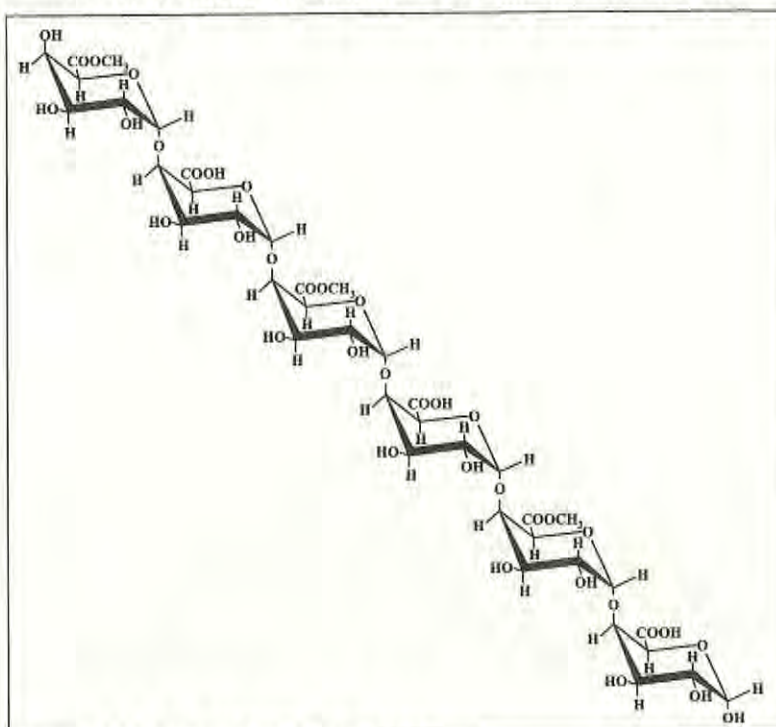


Fuente: adaptado de Badui, 1994.

Las pectinas de bajo metoxilo (LM, M<50%) forman geles termorreversibles en presencia de iones del calcio y pH bajo (3 a 4.5), mientras que las pectinas de alto metoxilo forman rápidamente geles termoirreversibles en la presencia de azúcares tales como sucrosa y pH < 3.5; cuanto más bajo es el contenido del metoxilo, más lento es el proceso de gelificación.

Existen algunas variaciones en la estructura química de las pectinas, por ejemplo, las pectinas de bajo metoxilo amidadas donde algunos de los grupos metoxilo han sido sustituidos por grupos amida mediante una desesterificación amoniacal durante el proceso de obtención de la pectina. Las características de estas pectinas varían según su grado de amidación y su grado de polimerización. En general, las pectinas amidadas forman geles termorreversibles y para gelificar no requieren más calcio además del que se encuentra en los frutos, por lo que son de uso muy simple.

Figura 3
Estructura química de pectina de alto metoxilo (HM)

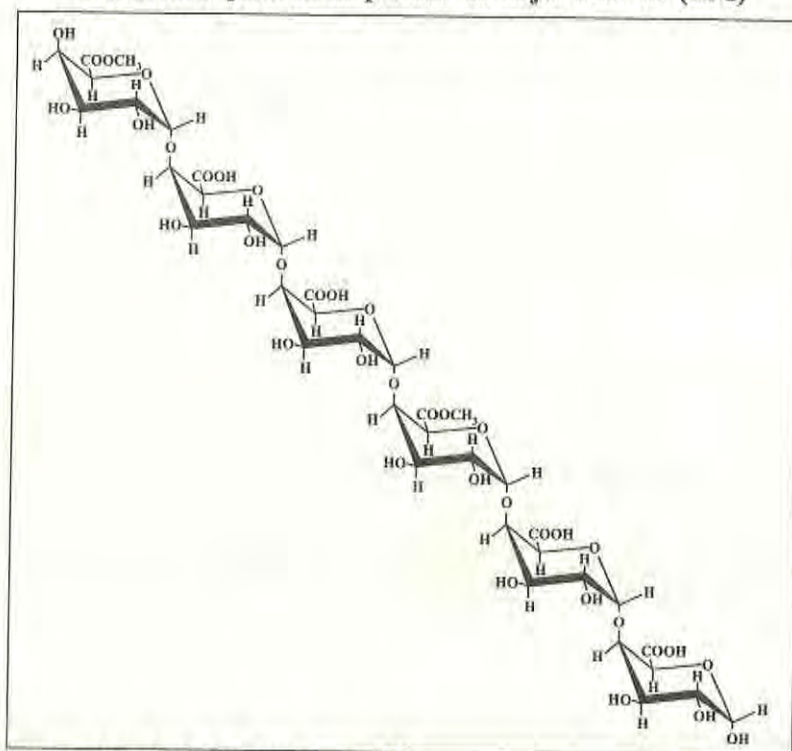


Fuente: adaptado de Cubero y otros, 2002.

El margen de aplicación está entre 30 y 65% de sólidos solubles y valores de pH entre 3 y 4.5; para sólidos solubles inferiores al 30% se recomiendan las pectinas no amidadas (Cubero y otros, 2002).

Aparentemente la cantidad de grupos metoxilos presentes determina la capacidad de una pectina para formar geles. Un ácido pectínico completamente esterificado debe contener teóricamente 16% de grupos metoxilo. Las pectinas de origen natural tienen entre 9.5 y 11% de grupos metoxilo. El grado de metoxilación determina el mecanismo de formación del gel de tal forma que las pectinas de gelificación rápida son las de mayor grado de metoxilación. La viscosidad de las soluciones pécticas depende de los valores de pH ya que a valores de pH mas altos, los carboxilos libres se disocian y forman grupos cargados negativamente que se repelen entre sí y las moléculas adoptan una configuración desplegada, recta y rígida que aumentan la viscosidad.

Figura 4
Estructura química de pectina de bajo metoxilo (LM)



Fuente: adaptado de Cubero y otros, 2002.

En el procedimiento de obtención se hidroliza la protopectina en medio ácido diluido a temperatura elevada para eliminar la pectina libre y otros productos tales como polisacáridos neutros y gomas. Después la materia insoluble se separa por prensado y filtración. El extracto péctico transparente se precipita en alcohol y al precipitado se le aplican lavados sucesivos utilizando una solución hidroalcohólica. La pectina fibrosa obtenida se prensa, se seca al vacío, se muele y finalmente se criba. El grado de esterificación final depende de la temperatura, el pH y de la duración del tratamiento ácido. Se puede obtener por lo tanto, pectinas fuertemente metiladas o pectinas débilmente metiladas. Las pectinas débilmente metiladas y las modificadas químicamente (pectinas amidadas), se pueden obtener igualmente por un tratamiento amoniacal que conduce a una desesterificación y a una amidación en

el medio ácido. Las pectinas amidadas utilizadas en la industria alimenticia tienen un grado de amidación inferior al 25 por ciento.

La ingestión de pectinas reduce la concentración de colesterol en la sangre, especialmente el colesterol ligado a las lipoproteínas de baja y muy baja densidad. Esta fracción del colesterol es precisamente la que está implicada en el desarrollo de la arteriosclerosis, por lo que la ingestión de pectinas puede actuar también como un factor de prevención de esta enfermedad. El mecanismo exacto de este fenómeno no se conoce con precisión, pero parece estar relacionado con el hecho de que las pectinas promueven la eliminación de esteroides por medio de la materia fecal.

Aplicaciones en los alimentos

Las aplicaciones de las pectinas en la industria alimenticia se deben a su capacidad de formar geles en determinadas circunstancias. Las pectinas de bajo metoxilo pueden formar geles en presencia de calcio, mientras que las de alto metoxilo gelifican a pH ácido y en presencia de una concentración elevada de azúcar que contribuye a deshidratar la solución. Estos geles son de uso frecuente en mermeladas, confituras y conservas de frutos. Las pectinas son utilizadas ampliamente como agentes gelificantes, aunque también tienen aplicaciones importantes como estabilizantes, espesantes y agentes para mejorar la textura (Badui, 1994).

Las pectinas de alto y bajo metoxilo tienen un efecto negativo en las propiedades mecánicas de los sistemas musculares de pescado (Barrera y otros, 2002). Sin embargo la amidación de las pectinas confiere una característica más polar o hidrofílica, lo que mejora la compatibilidad con las proteínas musculares, permitiendo mejorar la capacidad de retención de agua y las propiedades mecánicas de los geles, principalmente dureza y fuerza de ruptura cuando se adicionan al 1%, sin modificar los atributos de color. Sin embargo, la adición de 2 al 5% de pectina amidada a reestructurados de pescado ejerce un efecto disruptivo en las propiedades de gelificación, asociado probablemente con el hinchamiento de las pectinas, o con la modificación de la estructura nativa de las proteínas musculares debido a las interacciones pectina-proteína. La modificación de la estructura nativa de las proteínas por interacciones pectina-proteína puede afectar la estructuración adecuada del gel, lo que afectaría negativamente las propiedades mecánicas debilitando el gel (Uresti y otros, 2003a).

Las pectinas amidadas que se adicionan al 1 y 2% muestran un mejoramiento en las propiedades mecánicas de reestructurados de lenguado mexicano (*Cyclopsetta chittendenii*); carpa plateada (*Hypophthalmichthys molitrix*) y lisa (*Mugil cephalus*)

(Uresti y otros, 2003a; Uresti y otros, 2003b; Ramírez y otros, 2007). El efecto benéfico de estas propiedades está asociado con el incremento en el nivel de amidación ya que las pectinas con mayor nivel de amidación tienen un mejor efecto sobre las propiedades mecánicas (Rodríguez y otros, 2008).

La adición de pectinas amidadas a productos de pescado ofrece una alternativa saludable para personas con padecimientos cardiovasculares debido a que las pectinas disminuyen el nivel de colesterol sanguíneo es decir, el pescado es bajo en grasas saturadas y contiene ácidos grasos poliinsaturados del grupo de los omega 3 y omega 6.

Aditivos usados en el curado de alimentos

El curado de alimentos es una etapa importante cuando se aplican los métodos de ahumado y seco-salado en la conservación de alimentos. El ahumado es una forma de conservación que reduce el contenido en humedad del alimento y proporciona cierta protección contra las bacterias, debido a los cambios químicos que tienen lugar dentro de la carne salada como resultado de la combinación de la salmuera con el efecto del humo de madera sobre ella (Walter, 1995). Durante el proceso de salmuera la sal se introduce en la carne en forma cristalina o de solución de salmuera por osmosis ocasionando un incremento en la salinidad del espacio intracelular y una pequeña reducción de la salinidad extracelular con una disminución el volumen del músculo. El humo proveniente de la combustión de madera contiene acetatos y aldehídos que se depositan sobre el músculo combinándose con la sal y, por acción de las enzimas, se dispersa a través del alimento modificando tanto su color como su sabor (Walter, 1995).

Salmuera

La mayor parte de los aditivos que se utilizan en el proceso de ahumado y seco-salado se encuentran en la salmuera la cual está formada por una mezcla sal, azúcar, especias o hierbas y sal nitro entre otros compuestos, cada uno de ellos con funciones específicas. El proceso de salmuera o curado que se aplique depende de la materia prima y de las características sensoriales deseadas en el producto final. Si el único propósito es el de conservación, el proceso de curado debe ser más prolongado y con más sal.

Es importante mantener la salmuera a una temperatura de 3 a 4 °C durante todo el proceso de curado para inhibir el crecimiento de las bacterias. Si se mantiene a

una temperatura más elevada se producirá deterioro biológico y si la temperatura es inferior no ocurre el proceso de osmosis (Walter, 1995).

Sal común (NaCl)

En la industria de los alimentos el cloruro de sodio tiene diversas aplicaciones y es el condimento más importante en el proceso de ahumado. De acuerdo con su lugar de obtención, se puede distinguir entre sal marina y sal procedente de puntos en los que sedimentó en épocas pasadas. A nivel mundial, más de 60% de la producción de sal se obtiene del agua de mar. En los países tropicales o subtropicales donde se dispone de suficiente energía solar, la evaporación del agua de mar es el proceso de obtención más rentable (Mohler, 1980).

Azúcar

La sal contenida en la salmuera ocasiona el endurecimiento de la carne mientras que el azúcar la hace más tierna y ayuda a fijar el color. El azúcar es también un sustrato utilizado por las bacterias ácido-lácticas para producir ácidos orgánicos que le agragan un sabor agradable al producto final.

Eritorbatos

Son ingredientes que inhiben el cambio de sabor y color en los alimentos expuestos al aire. Se elaboran a partir del azúcar en forma de eritorbatos, el ácido eritórico y eritorbato de sodio que se usan en carnes curadas y saladas.

Nitritos y nitratos

Los conservadores son componentes utilizados para prevenir el deterioro químico y microbiológico de los alimentos. Los nitritos y los nitratos son usados en muchos alimentos como conservadores, antioxidantes e ingredientes funcionales. Son un componente fundamental en el curado de la carne y son conocidos como aditivos multifuncionales de los alimentos. Los nitritos son solubles en agua. A temperatura ambiente, una parte de agua disuelve una parte de nitrito sodio o tres partes de

nitrito de potasio. El nitrito de sodio juega un papel importante en la inhibición del crecimiento y de la producción de toxina de *Clostridium botulinum* en los curados.

La presencia de nitrato de sodio en la salmuera inhibe el crecimiento de bacterias y contribuye a mantener el color natural de la carne (Mohler, 1980).

La cantidad de nitritos (expresada en NaNO_2) existente en el nitrato de potasio y en el nitrato de sodio no debe ser superior a 30 mg/kg. El nitrato de sodio y de potasio son compuestos muy estables por lo que pueden almacenarse indefinidamente sin sufrir ninguna modificación.

Fuentes consultadas

- Ando H. *et al.* (1989), Purification and characteristics of a novel transglutaminase derived from microorganisms, *Agric. Biol. Chem.* núm. 53: pp. 2613-2617.
- Babin, H. y E. Dickinson (2001), "Influence of Transglutaminase Treatment on the Thermoreversible Gelation of Gelatin", *Food Hydrocol.* núm. 15, (3), pp. 271-276.
- Badui, D. S. (1994), Química de los alimentos, México, Alambra.
- Barrera, A. M.; J. A. Ramírez; J. J. González Cabriales y M. Vázquez (2002), "Effect of Pectins on the Gelling Properties of Surimi Gels from Silver Carp", *Food Hydrocolloids*, núm. 16, vol. 5, pp. 441-447.
- Cubero, N.; A. Monferrer y J. Villalta (2002), *Aditivos alimentarios*, Madrid Mundi-prensa AMV.
- De Jong, G. A. H. y S. J. Koppelman (2002), "Transglutaminase Catalyzed Reactions: Impact on food Applications", *Journal of Food Science*, núm. 67, pp. 121-123.
- Dimitrakopoulou, M.; J. Ambrosiadis; J. Zetou; J. Bloukas (2005), "Effect of Salt and Transglutaminase (TG) Level and Processing Conditions on Quality Characteristics of Phosphate-free, Cooked, Restructured Pork Shoulder", *Meat Science*, núm. 70, (4), pp. 743-749; España, pp. 273-290.
- Hie-Joon, K y 5 Y. Hyo (1999), Investigation of Transglutaminase-Induced Peptide Cross-Linking by Matrix-Assisted Laser Desorption-Ionization Time-of-Flight Mass Spectrometry, *Bull. Korean Chem. Soc.* núm. 20 vol. (11), pp. 1299-1302.
- Jiménez Colmenero, F.; M. Ayo y J. Carballo (2005), "Physicochemical Properties of Low Sodium Frankfurter with Added Walnut: Effect of Transglutaminase Combined with Caseinate, KCL and Dietary Fibre as Salt Replacers", *Meat Science*, núm. 69, (1), pp. 781-788.
- Kolle, D. y J. Savell (2003), "Using Active TG-RM to bind beef Muscles After Removal of Excessive Seam Fat Between the M. *Longissimus Thoracis* and M. *Spinalis Dorsi* and Heavy Connective Tissue From Within the M. *Infraspinatus*", *Meat Science*, núm. 64, (1), pp. 27-33.

- Kuraishi, C.; Y. Katsutoshi e Y. Susa (2001), "Transglutaminase: It's Utilization in the Food Industry", *Food Reviews International*, núm. 17 (2), pp. 221-246.
- Kuraishi, C.; J. Sakamoto y T. Soeda (1996), "The Usefulness of Transglutaminase for Food Processing", *American Chemical Society*, núm. 11, (2), pp. 29-38.
- Lee, H. G.; T. C. Lanier y D. Hamman (1997), "Covalent Cross-Linking, Effects of Thermo-rheological Profiles of Fish Protein Gels", *Journal Food Science*, núm. 62, pp- 25-28.
- Mohler, K. (1980), *El ahumado*, Zaragoza, Acribia.
- Motoki, M. y K. Seguro (1998), "Transglutaminase and its Use for Food Processing, Trend in Food", *Science and Technology*, 9 (5), pp. 204-210.
- Payne, T. (2000), *Transglutaminasa, una innovación tecnológica*. Ajinomoto.
- Ramírez, J. A.; Rodríguez Sosa.; O. Morales y M. Vázquez (2003), Preparation of Surimi Gels from Striped Mullet (*Mugil cephalus*) Using an Optimal Level of Calcium Chloride, *Food Chemistry*, 82: 417-423.
- Ramírez Suárez, J. A. y Y. Xiong (2003), Effect of Transglutaminase-Induced Cross-Linking on Gelation of Myofibrillar/Soy Protein Mixtures, *Meat Science*, núm. 65 (2), pp. 899-907.
- Ramírez, J. A.; N. Rodríguez; R. M. Uresti; G. Velázquez y M. Vázquez (2007), "Fiber-rich Functional Fish Food from Striped Mullet (*Mugil cephalus*) Using Amidated low Methoxyl Pectin, *Food Hydrocolloids*, núm. 21, (4), pp. 527-536.
- Rodríguez, N. R. *et al.* (2008), "Effects of Amidated low Methoxyl Pectin on Healthy Restructured fish Food From Mexican Flounder (*Cyclopsetta chittendeni*)", *Journal of Food Process Engineering*, núm. 31 (2), pp. 229-246.
- Sakai, T.; C. Kuraishi; S. Sakaguchi; Y. Susa y T. Soeda (1996), Pretreating Food Material Having Good Texture by Treating Material with Transglutaminasa, *Japan Patent*, núm. 8, p. 332.
- Sakamoto, H.; Y. Kamazawa; S. Toiguche; K. Seguro; T. Soeda y M. Motoki (1995), "Gel Strength Enhancement by Addition of Microbial Transglutaminase During Onshore Surimi Manufacture", *Journal Food Science*, núm. 60 (2), pp. 300-304.
- Seguro, K.; Y. Kamazawa; T. Ohtsuka; S. Toiguchi y M. Motoki (1995), "Microbial Transglutaminase and (Glutamyl-Lysine) Crosslink Effects on Gelation Properties of Kamaboko Gels", *Journal Food Science*, núm. 60 (1), pp. 305-311.
- Smewing, J. (2001), *Hidrocoloides. Textura de los alimentos*, Zaragoza, Acribia.
- Soeda, T.; T. Sakai y S. Toiguchi (1996), Effects of Microbial Transglutaminasa on the Texture of Surimi Gels Prepared from Various Kinds of Fishes, *Nippon Shokuhin*, núm. 43 (2), pp. 787-795.

- Téllez Luis, S. J.; J. A. Ramírez y M. Vázquez (2004), "Application in Restructured Fish Products of Transglutaminase Obtained by *Streptoverticillum Ladakanaum* in Media Made from Hydrolysates of Sorghum Straw", *Journal of Food Science*, núm. 69 (1), pp. 1-5.
- Uresti, R. M.; N. López Arias; J. A. Ramírez y M. Vázquez (2003a), "Effect of Amidated Low Methoxyl Pectin on the Mechanical Properties and Colour Attributes of Fish Mince", *Food Technol. Biotechnol.*, núm. 41 (2), pp. 131-136.
- Uresti, R. M., N. López-Arias; J. A. Ramírez y M. Vázquez; (2003b). "Effect of Amidated Low-Methoxyl Pectin on the Mechanical Properties and Colour Attributes of fish Restructured Products", *Food Technology and Biotechnology*, núm. 41 (2), pp. 131-136.
- Walter K. (1995), *Manual práctico del ahumado de los alimentos*, Zaragoza, Acribia.
- Zheng, M.; G. Du y J. Chen (2002), "pH Control Strategy of Batch Microbial Transglutaminase Production with *Streptoverticillum mobaraense*", *Enzyme and Microbial Technology*, núm. 31 (4), pp. 477-481.
- Zhu, Y.; A. Rinzema; J. Tramper y J. Bol (1995), Medium Design Based on Stoichiometric Analysis of Microbial Transglutaminase Production by *Streptoverticillum Mobarense*. *Biotechnology and Bioengineering*, núm. 50 (2), pp. 291-298.

Textura y color en alimentos

*Manuel Vázquez Vázquez
Rocío M. Uresti Marín
Octelina Castillo Ruiz*

Textura

La textura es uno de los atributos primarios que, junto con el aspecto, sabor y olor, conforman la calidad sensorial de los alimentos. No existe una definición exacta para el término, pero la textura puede considerarse como una manifestación de las propiedades reológicas de un alimento. Es un atributo importante de calidad que influye en los hábitos alimentarios y en la preferencia del consumidor. En el procesamiento y manipulación de alimentos puede tomarse como índice de deterioro, por lo que es importante medir la textura a través de métodos cuantitativos (Sherman, 1969).

Muchos estímulos contribuyen a la percepción de la textura, iniciando por las características audiovisuales, así como aquéllas relacionadas con el tacto y el movimiento. Además de los órganos sensibles del tacto del paladar, lengua, encía y la membrana peridontal alrededor de los dientes, se encuentran nervios importantes junto a los músculos orales. Las señales de estos nervios ofrecen información de la posición de la mandíbula, tensión del músculo y lengua. Se han identificado órganos de la piel, asociados con la percepción de ciertos atributos como los corpúsculos de Pacini relacionados con la percepción de la presión.

La textura es el resultado de la percepción de estímulos de distinta naturaleza y su evaluación por el hombre no es instantánea, sino que comprende diferentes aspectos de un proceso dinámico (percepción visual de la superficie del producto, comportamiento de éste durante su manipulación previa a la ingestión e integración de las sensaciones bucales experimentadas durante la masticación y deglución), que

se integran en el cerebro para dar una sensación específica. Por ello, desde que en la década de los sesenta se empezó a considerar la importancia de la textura en la calidad de los alimentos, en la última década se han propuesto numerosas definiciones.

La norma internacional ISO-5492 (International Organization for Standardization, 1992) define a la textura como "todos los atributos mecánicos, geométricos y superficiales de un producto perceptibles por medio de receptores mecánicos, táctiles y, si es apropiado, visuales y auditivos".

La norma española (UNE-87001, 1994) la define como "Conjunto de propiedades reológicas y de estructura (geométricas y de superficie) de un producto perceptibles por los mecano-receptores, los receptores táctiles y en ciertos casos, por los visuales y los auditivos".

Por su parte Rosenthal (1999), propone que la textura "es esencialmente una percepción sugestiva surgida de nuestra interacción con el alimento, su estructura y comportamiento cuando es manipulado".

De acuerdo a Cubero y otros (2002), la textura es un concepto intuitivo o empírico. Se puede decir que es un concepto puramente sensorial. Visualmente se observan cambios en los alimentos debidos a la manipulación, añadidos a la impresión subjetiva de la textura del alimento, incluso antes de que el alimento esté en la boca, se acumula una cantidad considerable de conocimientos y percepciones acerca de la textura de los alimentos visuales, palpables y hasta de estímulos auditivos (Kramer y Twigg, 1966).

Se han identificado dos categorías de sensación: *a*) aquellas debidas al tacto, las cuales ocurren independientemente de cualquier corte y *b*) aquellas que requieren una pequeña cantidad de deformación y un cierto corte producido por el movimiento de la lengua, donde el alimento es deformado y humedecido. Bajo estas condiciones son percibidas características de comportamiento tales como elasticidad, adhesividad al paladar y viscosidad (Sherman, 1969).

El orden cronológico de aparición de las diversas percepciones sensoriales que definen la textura pueden describirse como sigue: en un principio, al contacto con la lengua, paredes de la cavidad bucal y dientes surgen percepciones mecánicas (Cheftel y otros, 1992). Es decir, durante las primeras mordidas se fractura el material quebradizo, el material fibroso es desgarrado, el alimento es amasado y mezclado con la saliva para formar el bolo alimenticio (Heath, 1991). Durante estos ciclos de mordidas, se logra un alto grado de corte y se percibe una amplia variedad de características texturales, atributos que se relacionan a las propiedades físicas como: fuerza, dureza o suavidad y deformación o fractura, así como también fragilidad, plasticidad, esponjosidad (Sherman, 1969), viscosidad, sensaciones geométricas y auditivas (Cheftel y otros, 1992).

Finalmente, la evaluación por la lengua sobre el residuo de la masticación, con las modificaciones aportadas por ésta. Tales atributos incluyen las propiedades de derretirse en el paladar, sensaciones como untuosidad, chiclosidad y fibrosidad (Sherman, 1969), además de la rapidez y tipo de desintegración, estado de succulencia, lubricación y el poder de retención de agua. Existe una interdependencia entre todas las percepciones mencionadas y están influenciadas por otras percepciones organolépticas como aroma, sabor y temperatura; incluso el aspecto y el color pueden modificar las impresiones que produce la textura (Cheftel y otros, 1992).

Frecuentemente el consumidor condiciona la aceptación o rechazo de un alimento debido a la textura. Sin embargo, en este caso, no es una evaluación analítica y sistemática de la textura, ya que la evaluación analítica requiere equipos de degustación (jueces entrenados especialmente para expresar de forma correcta sus percepciones) o el empleo de instrumentos de medidas físicas (viscosímetros, texturómetros, etcétera). El inconveniente de éstos es que sólo miden algunas propiedades reológicas y no realizan la integración de las propiedades que miden y por lo tanto se necesita establecer la correlación entre estas medidas y los resultados de los equipos de degustación. Cheftel y otros (1992) aportan algunos ejemplos de indicadores para evaluar la textura de los alimentos: viscosidad, plasticidad, elasticidad, dureza, adhesividad, resistencia y fuerza de ruptura a la tracción, resistencia y fuerza de ruptura al corte, resistencia y fuerza de ruptura a la compresión, presión necesaria para exprimir un líquido, entre otras.

Pruebas para medir la textura

Los alimentos, como sistemas poliméricos heterogéneos, también poseen las propiedades mecánicas de los materiales; la mayoría son mecánicamente complejos y el proceso de trituración y la masticación combinan muchos procesos de tal forma que es necesario aplicar las teorías de la ciencia de materiales para separarlos, cuantificarlos y comprenderlos. Por otro lado, el alimento en la boca está cambiando continuamente sus propiedades con la temperatura, contenido de agua, pH, etcétera.

Existen dos enfoques principales para determinar los parámetros que definen la textura de un alimento: el primero es aplicar algún tipo de deformación mecánica, medir la respuesta y correlacionar los datos con los resultados de un panel sensorial; el segundo, tomado del enfoque de la ciencia de materiales, relaciona el tipo de deformación mecánica que mejor describe el alimento con la forma en la que el material responde. El enfoque de materiales se basa en la idea de que la estructura interna, las propiedades mecánicas y las condiciones de masticación de un alimento

en la boca podrían estar directamente relacionadas con la textura percibida (Dobraszczyk y Vincent, 1999).

La evaluación de la textura posee un componente sensorial muy importante lo que significa que dicho reconocimiento puede convertirse en una actividad subjetiva que depende de diversos factores. Esto ha conducido a los investigadores a buscar su medición través de técnicas de pruebas instrumentales realizadas bajo condiciones estandarizadas que garanticen la reproducibilidad de los resultados. Tomando como referencia los órganos sensoriales del cuerpo humano, se han creado dispositivos de pruebas instrumentales como son los transductores que convierten medidas físicas como la presión en señales eléctricas medibles directamente en los equipos. La instrumentación depende del tipo de prueba a realizar, pero para las pruebas mecánicas con frecuencia se involucran indicadores de tensión y celdas para medir fuerzas y posiciones o movimientos de detectores. Las pruebas se realizan en materiales sólidos y viscoelásticos, a menudo bajo compresión, cizalla, torsión o tensión. La capacidad de una prueba instrumental para predecir con precisión alguna característica textural sólo se puede establecer comparando datos de evaluación obtenidos por métodos sensoriales y por métodos instrumentales. Los buenos transductores presentan una respuesta lineal que a través de calibración con estándares y pueden representar características físicas definidas en términos de unidades absolutas. En cambio, la percepción humana es gobernada por fenómenos psicológicos, los cuales tienden a ser no lineales (Rosenthal, 1999).

Existen tres grupos de técnicas instrumentales usadas para medir la textura de los alimentos: pruebas empíricas, pruebas fundamentales y pruebas imitativas.

Las pruebas empíricas miden alguna propiedad física del material bajo condiciones definidas; se desarrollan a través de experimentación y observación, por lo que carecen de una base científica rigurosa. Las pruebas empíricas son las más utilizadas en la industria debido a su rapidez y sencillez, además de que ofrecen mejores correlaciones con la evaluación sensorial, sin embargo, los resultados obtenidos son valiosos únicamente para ese instrumento y no pueden extrapolarse a otro sistema de medida.

Las pruebas fundamentales miden propiedades físicas definidas o absolutas de los materiales como la viscosidad o el módulo elástico; estas pruebas son científicamente rigurosas y los datos son expresados en unidades definidas. Las relaciones entre las propiedades fundamentales de los materiales permiten la predicción de valores para una propiedad basada en valores conocidos para otras (Rosenthal, 1999). Desde el punto de vista práctico las pruebas fundamentales presentan poco interés ya que solamente pueden ser útiles para definir o caracterizar sistemas, establecer relaciones con su estructura y proporcionar las bases para el desarrollo de ensayos empíricos o imitativos. En general, ofrecen correlaciones limitadas con la evaluación

sensorial de la textura y requieren de un material homogéneo y de forma o tamaño perfectamente conocido (De Hombre y Díaz, 2001).

Las pruebas imitativas intentan simular las condiciones de masticación con algún tipo de máquina, que muerda o comprima el alimento. La máquina es instrumentalizada para proporcionar medidas de esfuerzo y/o deformación durante la secuencia de la prueba. Algunas de estas pruebas simulan la dentadura humana, imitando el movimiento de la mandíbula. Otras pruebas contienen una celda de prueba con una geometría similar a la de la boca humana, adquiriendo datos de la máquina que dependen de otros factores como el tipo y función de los sensores y el movimiento relativo de las mandíbulas. Sin embargo, algunas modificaciones menores, tales como la sustitución de las dentaduras por émbolos de área de la sección transversal conocida de modo que se puedan aplicar esfuerzos conocidos, permiten obtener datos para aplicaciones comparativas.

Desafortunadamente las pruebas imitativas por lo general no simulan las condiciones mecánicas aplicadas a los alimentos cuando son manipulados o masticados y, por lo tanto, no constituyen predictores útiles de la evaluación por parte de los consumidores. Esto se debe a que la mayoría de los alimentos muestran una compleja relación no-lineal entre el esfuerzo aplicado y la deformación resultante. Además, si en la prueba imitativa no se somete al alimento a los mismos esfuerzos o deformaciones impuestos por el consumidor durante su evaluación, entonces los datos obtenidos no son útiles para predecir el comportamiento de un alimento en pruebas de consumidores.

Pruebas fundamentales

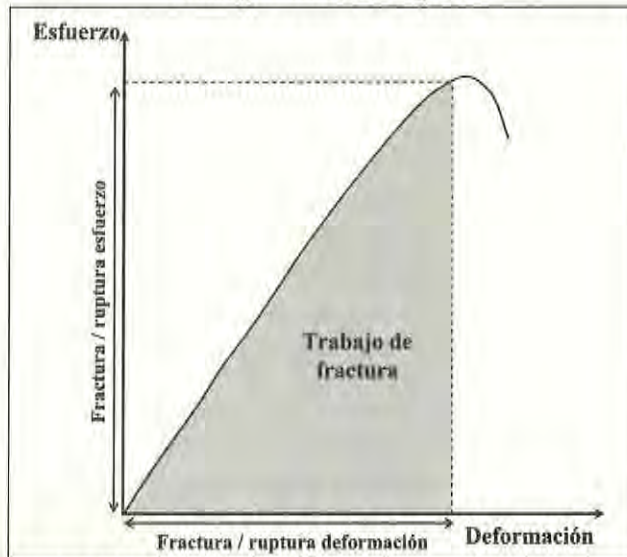
La reometría oscilatoria se ha utilizado frecuentemente para medir las propiedades elásticas y viscoelásticas de los geles y productos alimenticios. Los métodos de ensayo en la reometría oscilatoria se clasifican en dos tipos (Marín, 1988). El primer tipo implica la rotación estacionaria de las superficies límite a la misma velocidad angular; esto incluye reómetros de equilibrio y ortogonales. El segundo tipo utiliza reómetros convencionales de deformación controlada y de esfuerzo controlado. En el mercado existe un cierto número de reómetros oscilatorios de esfuerzo controlado. La variable controlada es el par de torsión del motor de impulsión (figura 1). Existen varias geometrías de medida disponibles para usar en los reómetros rotacionales. Los métodos reológicos oscilatorios se han aplicado ampliamente para estudiar las propiedades reológicas de diferentes productos, así como de geles de surimi (Chan y otros, 1995).

La observación de la microestructura y las propiedades de fractura revelan distinciones claras que no se pueden determinar mediante análisis reológico (Foegeding y otros, 1995). A pesar de la importancia industrial y social de los alimentos, existe relativamente poca información concerniente al comportamiento fundamental de los geles alimentarios durante los ensayos de deformación grande o de ruptura (Lelievre y otros, 1992a).

Cuando se consume un alimento tipo gel, la percepción de la textura es, en parte, una evaluación de las propiedades de deformación y fractura de la matriz viscoelástica del gel (Foegeding y otros, 1995). La fractura empieza en los defectos del material que causa concentraciones de esfuerzos y deformaciones locales (Atkins y Mai, 1985). Los defectos mayores en el material tienen efectos más fuertes en la iniciación de la fractura que en el comportamiento a deformaciones pequeñas, por tanto, este comportamiento a la fractura no se puede predecir con el comportamiento a baja deformación (Luyten y otros, 1992).

Las propiedades reológicas fundamentales determinadas en deformaciones grandes (fractura-*causa*) se denominan *esfuerzos* y *deformaciones de fractura*, *quiebra* o *ruptura* y a veces también *trabajo de fractura*, como se ilustra en la figura 1.

Figura 1
Curva esfuerzo/deformación de la compresión de un gel hasta la ruptura



Fuente: elaboración propia.

Análisis del perfil de textura

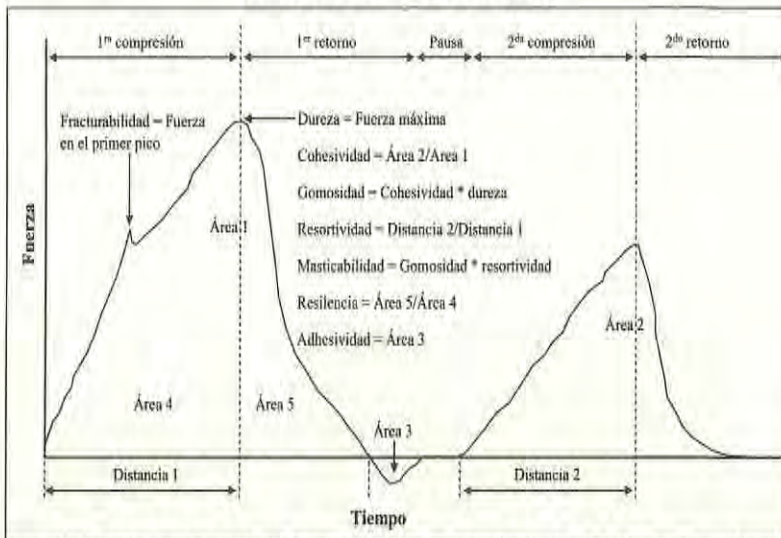
Un mejor entendimiento de la textura de los alimentos se obtiene mediante el análisis de la curva de fuerza/deformación generada por la compresión de una muestra utilizando un analizador de textura. Esta técnica instrumental es conocida como Análisis de Perfil de Textura (TPA-Texture Profile Analysis, por sus siglas en inglés). La técnica es imitativa al movimiento de masticación, pero existen diferencias entre la prueba instrumental y humana, de las cuales las más importantes son la temperatura y la presencia de saliva (Rosenthal, 1999; Alvarado y Aguilera, 2001).

El perfil de textura inicialmente fue desarrollado por General Foods Corporation en la década de los sesenta utilizando un instrumento de compresión basado en la deformación del alimento a través de un movimiento semejante a la mandíbula humana, el texturómetro de General Foods, el cual utilizaba un émbolo plano para contactar con la muestra del alimento. El émbolo comprimía 75% una muestra del alimento con una altura estándar de 0.5 pulgadas (0.0127 m) a una velocidad de 108 cm por min. Se utilizaba un ciclo con dos mordidas y el esfuerzo que se desarrollaba en la muestra se medía conforme la muestra era comprimida. Después de la "primera mordida", se obtenía la carga de la muestra y se permitía un tiempo de relajación. A medida que el émbolo se alejaba de la superficie de la muestra, se observaba cierta tensión debida a la adhesividad de la muestra. La "segunda mordida" comprimía la muestra de nuevo antes de una segunda relajación. La resistencia a la deformación del alimento era registrada durante estos dos ciclos de mordida. En la figura 2 se muestra una curva descriptiva fuerza-tiempo del TPA.

Para correlacionar las definiciones (parámetros de medición) de textura sensorial (tabla 1), se estableció una función matemática a cada término en base de los datos obtenidos en el texturómetro a partir de la curva fuerza-distancia. Por ejemplo, la cohesividad se definió como la razón del trabajo necesario para comprimir la muestra en la primera mordida y se determinó comparando la razón de las áreas bajo los dos picos que se corresponden a las dos mordidas.

Para validar el desempeño del texturómetro se establecieron curvas de correlación con los resultados obtenidos por un grupo de expertos que conformaban el panel sensorial o panel de cata. General Foods Corporation utilizó nueve jueces entrenados que clasificaron varios productos. Para cada uno de los atributos sensoriales se seleccionaron nueve productos estimando una distancia igual entre ellos y se midieron sus características sensoriales. Por ejemplo, la escala de la dureza se definió con el queso crema (con un valor sensorial de 1) pasando por huevos cocidos, salchichas, queso amarillo, aceitunas, cacahuates, zanahoria cruda, cacahuete caramelizado y dulce (valor sensorial de 9). Cada estándar tenía detalles definidos

Figura 2
Gráfica descriptiva obtenida del Análisis
de Perfil de Textura (TPA)



Fuente: adaptado de www.texturetechnologies.com/texture_profile_analysis.html; consultado en febrero de 2008.

de preparación o nombres marcados y se establecieron para permitir cualquier consideración en los atributos de textura en los distintos niveles definidos.

Tabla 1
Parámetros medidos por un análisis de perfiles de textura
(TPA) (Rosenthal, 1999)

<i>Parámetro</i>	<i>Definición sensorial</i>
Dureza o firmeza	Es la fuerza necesaria para lograr una deformación. Representa la fuerza requerida para comprimir un alimento entre los molares.
Adhesividad	Fuerza necesaria para sobreponerse a las fuerzas de la atracción existente entre la superficie de un alimento y la superficie de otros materiales con lo que el alimento entre en contacto.
Cohesividad	Es la fuerza de interacción que tienen los enlaces internos que forman el cuerpo del producto.

Fracturabilidad	Es la fuerza con la que un material se fractura. Se relaciona con los parámetros de dureza y cohesividad.
Masticabilidad	Se determina con la energía necesaria para masticar un alimento sólido a un estado listo para deglutir. Se vincula con la dureza, cohesividad y elasticidad.
Gomosidad	Es la energía que se necesita para desintegrar un alimento semisólido a un estado listo para deglutir. Este parámetro se relaciona con la dureza y cohesividad.

Fuente: Rosenthal, 1999.

Es evidente que el desarrollo del TPA ha demostrado ser una ayuda valiosa para evaluar la textura de los alimentos aunque los resultados son válidos para fines comparativos (Rosenthal, 1999). Sin embargo, existen algunos problemas relacionados con la evaluación instrumental de las características texturales de los alimentos sólidos, entre ellos se encuentran:

- *La velocidad.* Existen evidencias de que la mayoría de las pruebas de compresión involucran tasas de compresión lentas (bajas velocidades del cabezal, 0.2-5 cm/min). Sin embargo, la tasa normal de compresión aplicada durante la masticación corresponde a valores mayores. Por otra parte, debe tomarse en cuenta que no todos los alimentos son masticados de la misma forma. Se requieren fuerzas de masticación mayores para alimentos firmes que para blandos.
- *El tamaño y la forma.* Estos parámetros afectan el comportamiento de las curvas de fuerza de compresión. En ciertos alimentos se ha encontrado que la compresión es directamente proporcional a la altura de la muestra e inversamente proporcional al área transversal.
- *La temperatura de la muestra.* Es un factor predominante en el comportamiento reológico y consecuentemente los equipos de medición deben encontrarse en ambientes de temperatura controlada. La metodología de la instrumentación de algunos equipos implica la introducción de la muestra al dispositivo hasta que alcance una temperatura estable, antes que se aplique la prueba física. Sin embargo, esta aproximación es bastante diferente a la que se presenta en la boca durante la alimentación.
- *Condiciones de prueba durante compresiones sucesivas.* El análisis instrumental de las características texturales está basado en dos pruebas sucesivas bajo las mismas condiciones. Sin embargo, considerando la observación de

que la fuerza máxima de masticación y la tasa de masticación varían con la dureza del alimento, es posible que las condiciones para la segunda prueba no sean las mismas que para la primera prueba. Más aún, algunas características texturales se identifican en un tiempo posterior en el ciclo de masticación de aquel que puede representarse por estas pruebas.

- *Influencia de la saliva.* Las pruebas realizadas con equipos para medir textura se aplican a alimentos “secos”, es decir, que la influencia de la saliva en el alimento no se considera. Esto no es importante cuando se emplean los métodos instrumentales para simular la evaluación no oral de las características texturales, como por ejemplo la evaluación de la firmeza por compresión entre los dedos.

Existe un gran número de equipos desarrollados para “medir” instrumentalmente la textura, la mayoría de ellos muy populares y de amplio uso en la industria alimentaria. Esta situación responde a que, en muchas ocasiones, para controlar industrialmente la textura de un producto, se considera suficiente evaluar un atributo, sobre todo cuando éste predomina sobre el resto en la sensación final de textura (por ejemplo dureza en los guisantes, fracturabilidad en las galletas o viscosidad en los alimentos líquidos). En muchos casos, y para un gran número de alimentos, el atributo de textura predominante está bien definido y su control instrumental se resuelve seleccionando la variable mecánica responsable de la sensación; en otros, el predominio de un atributo no está tan claro y antes de seleccionar el método instrumental hay que determinar qué atributo o atributos influyen más en su textura.

Además de su utilidad práctica, es necesario tener en cuenta las posibilidades y limitaciones de los métodos instrumentales en la evaluación de la textura. Una limitación importante se produce porque, durante el proceso de masticación, los alimentos se rompen en pequeños trozos y este proceso de reducción de tamaño no es reológico. Tampoco tienen este carácter el tamaño, la forma o la rugosidad de las partículas resultantes, ni su capacidad para humedecerse con la saliva. Menos directa es la conexión de la reología con las percepciones ligadas a los receptores visuales y auditivos. En función de la naturaleza del alimento, la percepción de diferentes atributos por los sentidos puede tener mayor o menor importancia en la sensación integrada percibida por el ser humano. Por tanto, aún disponiendo de un método reológico que proporcionase una información completa sobre los atributos mecánicos de la textura de un alimento, no se conseguiría la medida integral de la misma.

La textura de los alimentos es claramente un atributo sensorial y sólo puede medirse totalmente con métodos sensoriales. Como ocurre con otros atributos, el desarrollo y el mejoramiento de los métodos sensoriales para medirla se debe basar

en el conocimiento del proceso por el que el ser humano la evalúa. Básicamente, este proceso incluye: la percepción fisiológica del estímulo, la elaboración de la sensación y la comunicación verbal de la sensación.

Penetrómetros

Uno de las pruebas más comunes aplicadas en la industria de los alimentos es la prueba con penetrómetro o prueba tipo punción, en la que una sonda penetra en el material alimentario y se mide la profundidad o la fuerza de penetración. Este equipo tiene las ventajas de ser rápido, portátil, fácil de utilizar y barato (un requisito principal para la industria) y requiere mínima experiencia técnica o de procesado de datos. Sin embargo este método se basa en un proceso de deformación muy complejo y mal definido.

Pruebas de extrusión

Para las pruebas de extrusión se utiliza el sistema de medición Ottawa que se desarrolló como un sustituto del tenderometro Pea. La muestra es extraída siendo empujada a través de un enrejado de alambres gruesos en el fondo de la celda de ensayo, aunque se han desarrollado otras celdas para el instrumento que se basan en otros principios tales como cizalla o compresión. Otro ejemplo de un método basado en la extrusión en combinación con compresión, es la celda de retroextrusión que consiste en un pistón funcionando en un cilindro sin salida con una abertura libre de obstáculos entre el pistón y el cilindro, a través de la cual se fuerza a retroceder la muestra comprimida.

Propiedades de textura de geles

Los segmentos de moléculas lineales en disolución forman una asociación de varias unidades de cadenas. El acercamiento de ciertas unidades de monómeros entre las diferentes cadenas de polímeros produce un aumento de "zonas de enlace". La estabilidad (o fuerza) de estos agregados helicoidales está directamente relacionada con la fuerza de ruptura del gel macroscópico y depende principalmente de la longitud; es decir, el número de enlaces intermoleculares que desarrolla más que del número de zonas de enlace. Además, las conexiones interenlace ejercen su influencia sobre la resistencia del gel (Ainsworth y Blanshard, 1979).

Los enlaces son de varias clases pero los principales suelen ser los puentes de hidrógenos (Whistler, 1993). Cuando dos cadenas forman una zona de enlace a lo largo de sus longitudes de cadena, otras regiones pueden colisionar y formar una zona de enlace con otras moléculas y los segmentos de las diferentes cadenas ordenadas se empaquetan en una disposición ordenada de segmentos de cadena unidos de forma no covalente (Clegg, 1995).

Este proceso de formación aleatorio de zonas de enlace entre diferentes moléculas puede continuar hasta que la mayoría de las moléculas de polímeros forman una red tridimensional grande (Whistler, 1993). La naturaleza de las zonas de enlace ordenadas varía entre los diferentes sistemas de gelación, pero usualmente están compuestas de segmentos de cadena con estructuras conformacionalmente ordenadas, que son las mismas que las que se encuentran ordenadas en el estado sólido del hidrocoloide (Morris, 1990).

La resistencia del gel depende de la fuerza de las uniones intermoleculares en las zonas de enlace. Si la unión es débil, se puede romper y la estructura total del gel se desorganiza mediante agitación suave. Cuando las zonas de enlace son de mayor fuerza, se forma un gel que no se puede romper fácilmente con agitación (Whistler, 1993).

Durante la masticación, el material se rompe, y la estructura se percibe como textura. En las últimas décadas muchos investigadores han contribuido al conocimiento básico de descripción de las propiedades fundamentales de geles de polímeros, en particular, el comportamiento reológico de estas estructuras se ha estudiado extensamente utilizando regímenes pequeños de deformación y esfuerzo (Lelievre y otros, 1992). Sin embargo, durante el procesado, elaboración y consumo de los alimentos, estos sistemas están sujetos a altas deformaciones, lo que puede ocasionar la ruptura del alimento.

En las pruebas con deformaciones pequeñas generalmente se investigan parámetros viscoelásticos y frecuentemente se utilizan equipos de análisis especializados. Para describir el comportamiento reológico de los geles, a menudo se utilizan los módulos de cizalla o de Young determinados en la región lineal (es decir, la región donde el esfuerzo necesario para deformar un material es proporcional a la deformación) (Van Vliet, 1995). Estos módulos son independientes de las geometrías tanto del sistema de medición como de la muestra de gel; por consiguiente, los parámetros no son válidos para la comparación de los sistemas de gelación.

Para las pruebas con deformación grande se utilizan los instrumentos de ensayo de compresión y tensión (por ejemplo, analizadores de textura). Estos equipos a menudo miden los esfuerzos, la deformación y las propiedades de fractura de los sistemas completamente gelificados que tienen relevancia en las propiedades finales del material (Roos-Murphy, 1995).

La medida objetiva más común de la calidad del gel es la resistencia (en inglés *gel strength*) (Pomeranz y Meloan, 1994) para la que están disponibles numerosos métodos. La elección del método depende del propósito del ensayo, de la tradición y del tipo de material que se evalúa. Algunos métodos empíricos, particularmente métodos no destructivos (deformación pequeña), miden la resistencia dentro de los límites elásticos del gel. Otros métodos miden la fuerza de ruptura. Desafortunadamente, los resultados obtenidos con diferentes métodos no son de fácil comparación. La elección del instrumento para la medida del gel dependerá de si se requiere un análisis de un simple punto o multiparamétrico. También dependerá de velocidad de adquisición de datos, la precisión, exactitud de los resultados y de las posibilidades del software para su utilización y análisis de resultados.

Los ensayos de compresión (o penetración) constituyen las bases de muchos ensayos empíricos de deformación pequeña utilizados para medir la resistencia de geles. El principio de operación es que una muestra de gel normalizada se comprime mediante un émbolo cilíndrico normalizado descendiendo a una distancia programada, por ejemplo para la gelatina es una deformación de 4 mm, con una carga que aumenta con el tiempo de la prueba. La carga final se lee como resistencia del gel; cuanto más grande es la fuerza requerida para penetrar, dicha resistencia se da un nivel mayor. Esto representa uno de los métodos más simples y más comunes aceptados para medir la firmeza de los geles y la calidad de la gelatina, agar y pectina (Rosenthal, 2001).

Los analizadores de textura también se utilizan para determinar la fuerza de ruptura; es decir, la fuerza necesaria para romper el gel por compresión o penetración (punción) en una muestra normalizada y utilizando una sonda estándar que desciende a velocidad constante hasta que el gel se rompe. Aunque las características de ruptura de los geles se pueden medir en modos de compresión, tensión y torsión, la más apropiada es la compresión uniaxial, puesto que en muchas situaciones prácticas los sistemas alimentarios están sujetos a compresión o penetración (Rosenthal, 2001).

Color

Físicamente el color se define como la distribución de energía de la luz reflejada o transmitida por un alimento en particular (Francis, 1983). El color es el resultado perceptual de la incidencia sobre la retina de una radiación electromagnética cuya longitud de onda (λ) está comprendida entre 370 y 770 nm. Este rango, en términos prácticos, se establece entre los 400 y 700 nm. Cualquier radiación electromagnética que se encuentre en este rango constituye un estímulo sobre la retina que el nervio

óptico transmite al cerebro donde es integrado. Generalmente, el estímulo consiste en una luz reflejada (o transmitida) por el objeto a partir de una fuente de iluminación incidente (Cheftel y otros, 1992). Desde el punto de vista químico, la zona más útil del espectro varía desde el ultravioleta (100 a 380 nm) hasta el infrarrojo (770 a $1 \cdot 10^6$ nm). Sin embargo, sólo la energía que corresponde al espectro visible es la que contribuye a la percepción del color.

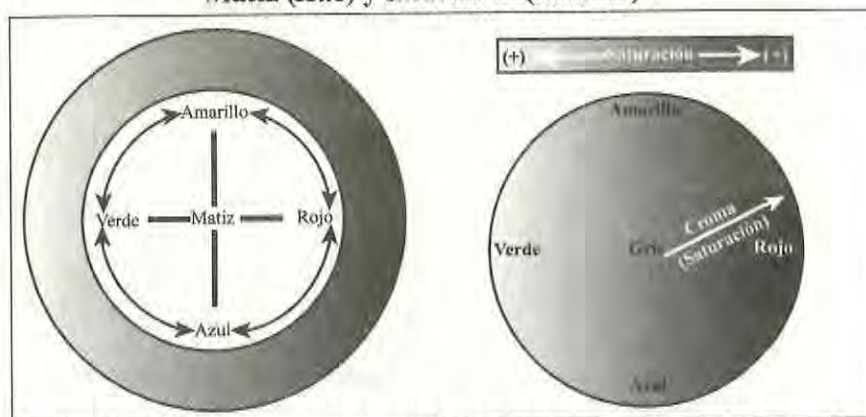
El color de un alimento depende de la absorción de luz por los átomos que lo constituyen. La demostración clásica se encuentra en la apariencia de algunas piezas de vidrio de una botella de cerveza de color verde. Las piezas de vidrio aparentemente son verdes; sin embargo, cuando dichas piezas son pequeñas, tienen una apariencia más blanca debido a una reflexión múltiple entre las partículas. En el caso anterior, el efecto de dispersión eclipsa significativamente el efecto de absorción. De esta forma, el color en la mayoría de los alimentos es la combinación de la absorción y la dispersión de la luz. Esto confiere un carácter empírico a la medición del color, aunque afortunadamente es reproducible y se puede interpretar adecuadamente (Jiménez y Gutiérrez, 2001).

Cada color tiene su propia apariencia basada en tres elementos: tono o matiz, luminosidad, claridad o brillo y variación, saturación o pureza. Al describir un color usando estos tres atributos se identifica con precisión un color específico y se distingue de cualquier otro.

El tono o matiz (*hue*, en inglés) es la característica que clasifica a un color como rojo, naranja, amarillo, etc. y depende sobre todo de la longitud de onda dominante de la luz. El anillo de color de la figura 3 muestra el continuo de color de un matiz al siguiente. Así como se muestra en el anillo, al mezclar pinturas de azul y verde se obtiene un verde azul; mientras que al mezclar amarillo con verde se obtiene un verde amarillo.

La variación, saturación o pureza (*chroma*) se refiere a la apariencia de un color, por ejemplo, rojo o menos rojo de acuerdo a la proporción de gris presente. Este parámetro describe lo llamativo o lo apagado de un color e indica, qué tan cerca está el color ya sea al gris o al matiz puro. Por ejemplo, al comparar un tomate con un rábano, el rojo del tomate es mucho más llamativo mientras que el rábano parece más apagado. La figura 3 muestra cómo cambia el *chroma* conforme se mueve del centro hacia la periferia. Los colores en el centro son grises o apagados y conforme avanza hacia la periferia se vuelven más saturados o vivos. La pureza de cualquier color del espectro es del 100%, mientras que la pureza del blanco es cero (Sancho y otros, 1999).

Figura 3
Matiz (Hue) y saturación (Chroma)



Fuente: adaptado de www.hunterlab.com/coloreducation/colortheory/ 'Eclairage'; consultado en febrero de 2008.

La luminosidad, claridad o brillo (*value*) es la característica que sitúa un color entre el blanco y el negro. Se define como la característica de una sensación de color similar a la producida por algún elemento de la escala de grises que va desde el blanco (máxima luminosidad) hasta el negro (mínima luminosidad).

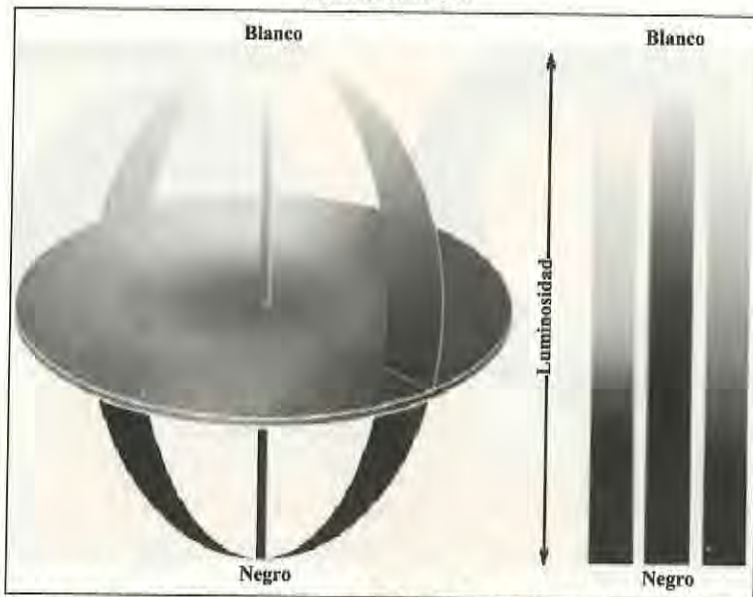
Los colores se clasifican en dos grandes grupos:

1. Los acromáticos, que son el blanco, el negro y el gris.
2. Los cromáticos, que son todos los demás, entre los cuales se distinguen cuatro fundamentales (azul, rojo, amarillo y verde).

Al unir todos estos conceptos se puede obtener un espacio de color como se muestra en la figura 4.

La colorimetría es la ciencia que tiene por objeto medir el color y dado que éste no es una propiedad intrínseca de los objetos sino que depende del estado físico, del iluminador utilizado y de la sensibilidad del ojo, obliga a establecer una serie de condicionantes para la correcta interpretación de las medidas realizadas. Para estandarizar la medición del color, en 1931 la Commission Internationale L'Eclairage (CIE) definió el espacio físico de colores fundado en la teoría de la percepción tricromática de Young, basándose en fuentes estándar de iluminación, condiciones exactas de observación, curvas estándar para el observador y unidades apropiadas o congruentes.

Figura 4
Luminosidad



Fuente: adaptado de www.hunterlab.com/coloreducation/colortheory; consultado en febrero de 2008.

La CIE definió varias fuentes de iluminación normalizadas en función de su curva de distribución espectral y de la temperatura del color. En cuanto a las condiciones de observación se estableció la iluminación de la muestra con un ángulo de 45° y observar perpendicularmente. Se determinó asimismo que la validación de los métodos para medir el color en alimentos se debe basar en factores sumamente simples de tal forma que la mayoría de los colores pueden ser perfectamente igualados por la mezcla aditiva de las cantidades apropiadas de luz de los tres colores básicos o primarios: rojo (*R*), verde (*G*) y azul (*B*).

La CIE decidió utilizar la naturaleza algebraica de las ecuaciones de igualación de colores y convertir el significado de los valores de *R*, *G* y *B* a tres valores triestímulos primarios dados en coordenadas positivas *X*, *Y*, *Z* (Sancho y otros, 1999; Alvarado y Aguilera, 2001). Adicionalmente estos valores fueron seleccionados de tal manera que la brillantez o luminosidad de un estímulo fuera únicamente representado por el valor *Y*. Entre las muchas modificaciones de este sistema, tal vez la más conocida sea el sistema Hunter (*L*, *a*, *b*) y CIELab.

Sistema Hunter

El sistema de Hunter (Hunter, 1975) se desarrolló a partir de la teoría de Hering de los colores opuestos, en la que se definieron tres nuevas coordenadas de claridad (L) y cromaticidad (a) cuando corresponde al componente rojo-verde para valores positivo y negativo respectivamente y (b) para el componente amarillo/azul. El mismo comportamiento se observa para valores positivos y negativos. La saturación está dada por la separación al centro del sistema tridimensional como se muestra en la figura 4.

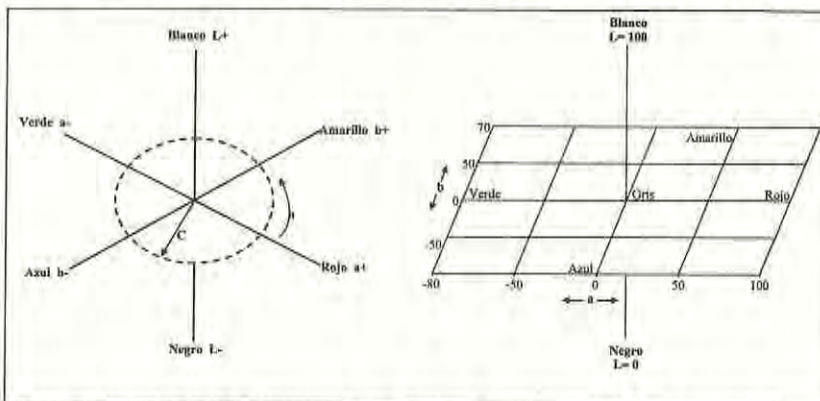
Existe una relación directa entre los valores triestímulo X, Y, Z con L, a y b mediante:

$$L = 10\sqrt{Y}$$

$$a = \frac{17.5(1.02X - Y)}{\sqrt{Y}}$$

$$b = \frac{7(Y - 0.847Z)}{\sqrt{Y}}$$

Figura 5
Sistema CIELAB con las coordenadas rectangulares L, a y b



Fuente: adaptado de www.hunterlab.com/coloreducation/colortheory; consultado en febrero de 2008.

Sistema CIELAB

La CIE modificó su sistema en 1971 proponiendo un nuevo espacio cromático mediante coordenadas cilíndricas de claridad (L), croma o saturación (C) y tonalidad (h) además de las coordenadas rectangulares L , a y b (figura 5).

Existen una serie de relaciones matemáticas para convertir los valores triestímulo X, Y, Z a los valores L, a y b :

$$L = 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{0.33} - 16$$

$$a = 500 \left[\left(\frac{X}{X_n} \right)^{0.33} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{0.33} \right]$$

$$b = 200 \left[\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{0.33} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{0.33} \right]$$

donde X_n, Y_n y Z_n , corresponden al iluminante utilizado para un observador apropiado.

Cuando estas coordenadas cartesianas son transformadas a coordenadas cilíndricas, las variables utilizadas son la claridad (L), el croma o saturación (C) y el tono (h) definidas por (Alvarado y Aguilera, 2001):

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

$$h = \text{arc tan } \frac{b}{a}$$

El valor numérico de cada componente es expresado en unidades CIELAB. Finalmente, la diferencia del color entre dos muestras utilizando este sistema se define por:

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

Las ventajas de utilizar esta última ecuación para evaluar la diferencia de color entre dos muestras es que no hay otra ecuación consistente que proporcione altos coeficientes de correlación con respecto a los datos visuales; además permite que la

diferencia de color pueda ser separada en tres componentes: la diferencia de claridad, de croma y de tono:

$$\Delta L = L_{\text{muestra}} - L_{\text{estándar}}$$

$$\Delta C = C_{\text{muestra}} - C_{\text{estándar}}$$

$$\Delta h = \Delta E^2 - \Delta L^2 - \Delta C^2$$

El valor numérico de cada componente viene dado en unidades CIELAB. Finalmente, es mucho más simple evaluar ΔE a partir de los valores de X , Y , Z para la muestra y el estándar que a partir de cualquier otra ecuación similar descrita (Jiménez y Gutiérrez, 2001).

Medición del color en alimentos

El color se considera una propiedad de la materia directamente relacionada con el espectro de luz por lo que se puede medir físicamente en términos de energía radiante o intensidad y por su longitud de onda. Se considera también el primer contacto que tiene el consumidor con los productos y después los juzga por la textura, sabor o precio. Innumerables pruebas han comprobado que cuando el color de un alimento cambia (sin alterar su forma, aroma, sabor, etc.), se obtiene una respuesta de rechazo por parte de los consumidores, o incluso, de los catadores entrenados. Los compuestos orgánicos que proporcionan color a los alimentos forman parte de su composición; algunos de ellos se producen durante su manejo y procesamiento y otros son pigmentos naturales o colorantes sintéticos añadidos (Cheftel y otros, 1992). Cuando el alimento se somete a un tratamiento térmico, congelación, secado, etc. pueden desarrollar tonalidades diferentes debido a reacciones que ocurren durante el proceso. Estos cambios en coloración se deben analizar a través de diversos parámetros (Badui, 1999).

Los instrumentos de medición de color lo reciben de la misma manera que lo recibe el ojo, mediante la captación y filtrando las longitudes de onda de la luz reflejada por un objeto. El instrumento percibe las longitudes de onda de la luz reflejada como valor numérico. Estos valores se registran como puntos dentro del espectro visible y se llaman datos espectrales, los cuales se representan como una curva espectral.

Una vez que se obtiene la curva de reflectancia de un color, se aplican las matemáticas para colocar el valor en un espacio de color. Para ello se toma la curva de

reflectancia y se multiplican los valores por los datos de un iluminante estándar CIE. El iluminante es una representación gráfica de la fuente de luz bajo la cual se ven las muestras. Cada fuente de luz tiene una distribución de energía que afecta el modo en que se mira el color.

En diversas ocasiones, el color es un factor importante para valorar la calidad de un alimento y frecuentemente está ligado a la maduración, presencia de impurezas, tratamiento tecnológico, condiciones de almacenamiento, alteración por microorganismos, etcétera. Por esta razón, el color es la base de varios métodos oficiales para valorar la calidad de los alimentos.

Con la ayuda de instrumentos ópticos como fotómetros y colorímetros, se ha buscado definir, medir y comparar los colores de una manera objetiva. Las observaciones se hacen generalmente sobre soluciones transparentes o claras en las que se mide la absorbancia o transmitancia; cuando se trata de superficies planas, mates (y no brillantes), opacas (y no translúcidas), de pigmentación homogénea, se mide la reflectancia. Los alimentos muy pocas veces corresponden a uno u otro de estos dos modelos ideales. La homogeneización, la pulverización y el tamizado (por ejemplo, granos de café) seguidos de una ligera compresión, facilitan la obtención de superficies sensiblemente planas y homogéneas. Cuando el alimento es translúcido, las capas situadas inmediatamente por abajo de la superficie, también reflejan la luz de modo difuso y en este caso, pueden resultar medidas imprecisas de reflectancia ya que se escapa una parte de la luz reflejada. Este error puede minimizarse reduciendo la superficie iluminada, captando la luz reflejada sobre una superficie mayor o midiendo la reflectancia de una pequeña capa de alimento dispuesta sobre un fondo blanco o negro (Cheftel y otros, 1992).

La interpretación de las señales fisiológicas que van desde la retina hasta el cerebro es un proceso sumamente complejo y está influenciado por una gran variedad de aspectos psicológicos. Un alimento, por ejemplo un queso, puede tener un color a la luz del sol pero presentar otra tonalidad en la sombra; sin embargo el cerebro indica que el color de ese alimento debe ser blanco (Francis, 1983).

Si el alimento es un líquido transparente como vino o jugo de uva o si se puede obtener de él un extracto de color, es posible emplear un colorímetro o espectrofotómetro para medir su color. Este tipo de instrumento también puede medir la claridad o turbidez de un líquido mediante la cantidad de luz que deja pasar. Existen varios otros métodos de medir el color de los líquidos. Si el alimento es un líquido o un sólido el color puede medirse al compararlo con los colores definidos de discos o azulejos estándares, los cuales existen en cientos de tonos y son identificados por número en el colorímetro de discos Macbeth-Munsell (Potter y Hotchkiss, 1999).

Fuentes consultadas

- Ainsworth P.A. y J. M. V. Blanshard (1979), *Journal of Foods Technology*, núm. 14, p. 141.
- Alvarado J. D. y J. M. Aguilera (2001), *Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos*, Zaragoza, Acribia.
- Atkins, A. G. y Y. W. Mai (1987), "Fracture Strains in Sheet Metalforming and Specific Essential Work of Fracture", *Engineering Fracture Mechanics*, núm. 27, vol. 3, pp. 291-297.
- Badui Dergal, S. (1999), *Química de los alimentos*, México, Pearson Educación.
- Chan, J.K.; T. A. Gill; J. W. Thompson y D. S. Singer (1995), "Herring Surimi During Low Temperature Setting: Physicochemical and Textural Properties", *Journal of Food Science*, vol. 60, núm. 6, pp. 1248-1253.
- Clegg, S. M. (1995), "Thickenes, Gel and Gelling", en S. T. Beckett (ed.), *Physico-Chemical Aspects of Food Processing*, Glasgow, Scotland, Blackie Academic & Professional, pp. 117-141.
- Cheftel J. C.; H. Cheftel y P. Besancon (1992), *Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos*, Zaragoza, Acribia.
- Cubero, N.; A. Monferrer y J. Villalta (2002), *Aditivos alimentarios*, Madrid, Mundi-Prensa.
- De Hombre, M. R. y A. J. A. Díaz (2001), "Textura de sólidos y semisólidos", en J. D. Alvarado y J. M. Aguilera (eds.), *Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos*, Zaragoza, Acribia.
- Dobraszczyk, B. y J. Vincent (1999), *Textura de los alimentos, medida y percepción*, Zaragoza, Acribia.
- Foegeding, E. A.; E. L. Bowland y C. C. Hardin (1995), "Factors that Determine the Fracture Properties and Microstructure of Globular Protein Gels", *Food Hydrocolloids*, núm. 9, pp. 237-249.
- Francis, F. J. (1983), "Colorimetry of Foods", en M. Peleg; E. B. Bagley (eds.), *Physical Properties of Foods*, Westport, The AVI Publishing Company.
- Heath, M. R. (1991), "The Basic Mechanics of Mastication: Main Adaptive Success", en J. F. V. Vincent y P. J. Lillford (eds.), *Feeding and the Texture of Food*, Cambridge, UK, The University Press.
- Jiménez, A. y G. Gutiérrez (2001), *Métodos para medir propiedades físicas en industrias alimentarias*, Zaragoza España, Acribia.
- Kramer, A. y B. A. Twigg (1966), *Fundamentals of Quality Control for the Food Industry*, Westport, Connecticut, The Avi Publishing Company.

- Lelievre, J.; I. A. Mirza y J. Tang (1992a), "Measurement of the Tensile Failure of Ges", *Journal of Textura Studies*, núm. 23, pp. 349-358.
- Luyten, H.; T. Van Vliet y P. Walstra (1992), "Comparison of Various Methods to Evaluate Fracture Phenomena in food Materials", *Journal of Texture Studies*, vol. 23, núm. 3, pp. 245-266.
- Marín, G. (1988), "Oscillatory Rheometry", en A. A. Collyer y D. W. Clegg (eds.), *Rheological Measurement*, London, Elsevier Applied Science, pp. 297-343.
- Morris, E. R. (1990), "Industrial Hydrocolloids" en D. M. Bloor y E. WynJones (eds.), *The Structure, Dynamics and Equilibrium Properties of Colloidal Systems*, Dordrecht, the Netherlands, Kluwer, pp. 449-470.
- Potter, N. N. y J. H. Hotchkiss (1999), *Ciencia de los alimentos*, Zaragoza, Acribia.
- Pomeranz, Y. y C. E. Meloan (1994), "Rheology" en *Food Analysis: Theory and Practice*, New York, Chapman & Hall, pp. 449-487.
- Rosenthal, A. J. (1999), *Textura de los alimentos, medida y percepción*, Zaragoza, Acribia.
- _____ (2001), *Textura de los alimentos. Medida y percepción*, Zaragoza, Acribia.
- Roos-Murphy S. B. (1995), "Rheological Characterisations of Ges", *Journal of texture Studies*, núm. 26, pp. 391-400.
- Sancho, J.; E. Bota y J. J. de Castro (1999), *Introducción al análisis sensorial de los alimentos*, Barcelona, Universidad de Barcelona.
- Sherman, P. (1969), "A Texture Profile of Food Stuffs Based Upon Well-Defined Rheological Properties", *Journal of Food Science*, núm. 34, pp. 462-485.
- Van Vliet, T. (1995), "Mechanical Properties of Concentrated Food Gels", E. Dickinson (ed.), *Food Macromolecules and Colloids* (Special Pub.) Cambridge, UK, Royal Society of chemistry, núm. 82, pp. 447-455.
- Whistler, R.L. (1993), "Introduction to Industrial Gums" en R.L Whistler y J. N. Be Miller (eds.), *Industrial Gums* 3a. ed., New York, Academic Press, pp. 1-19.

Elaboración de jamón de pescado

*Geazul Calderón Hernández
José Alberto Ramírez de León
Gonzalo Velázquez de la Cruz*

Introducción

La lisa (*Mugil cephalus*) es una especie de pez ampliamente distribuida en las aguas costeras de diferentes continentes (Europa, Asia, África, Oceanía y América). En México se capturan anualmente un promedio de 9 mil toneladas; Tamaulipas representa el segundo esfuerzo pesquero estatal, con la captura de más del 52% del volumen nacional, actividad realizada principalmente en la Laguna Madre.

Para finales de los años sesenta, la lisa que se capturaba en la Laguna Madre se consideraba como “pesca incidental”, no tenía importancia comercial y era desechada. Actualmente, la hueva de esta especie es comercializada en los mercados internacionales, pero el músculo es considerado como un producto de bajo valor comercial debido a su fuerte sabor y color. Por esta razón se busca implementar una tecnología que sea capaz de aprovechar este recurso pesquero elaborando nuevos productos como el jamón de pescado.

En la actualidad, el proceso de reestructuración es una tecnología que ha tomado mucha importancia ya que permite la transformación de cortes y recortes de bajo valor comercial en nuevos productos. De este modo se utiliza carne de pescado (entre otros) que por su especie, volumen, composición fisicoquímica, o posición anatómica no es aprovechada, aumentando así, el rendimiento económico del sector pesquero (Ramírez y otros, 2006).

Para la elaboración de estos productos reestructurados existen diferentes aditivos que se utilizan en la industria de alimentos, tales como las gomas, carrageninas,

hidrocoloides, proteínas y la enzima microbiana transglutaminasa, que permite utilizar nuevos sistemas de reestructuración en frío, abriendo la posibilidad a los alimentos crudos y congelados (Jiménez y otros, 2005).

La transglutaminasa o TGasa (E.C. 2.3.2.13) es una enzima endógena que facilita el proceso de reestructuración mejorando las propiedades mecánicas de textura de alimentos que contengan proteínas. Su actividad se acentúa cuando la pasta solubilizada se incuba a 40 °C; a este fenómeno de gelificación a baja temperatura se le denomina *setting* o *suwari*. La transglutaminasa microbiana (MTGasa) se obtiene de diferentes microorganismos: *Streptoverticillium genus*; *S. ladakanum* o *Bacillus subtilis* entre otros (Téllez-Luis y otros, 2004). Esta enzima extracelular, al igual que la TGasa endógena, tiene la capacidad de unir proteínas de alimentos por medio de enlaces covalentes (Sakamoto y otros, 1995; Motoki y Seguro, 1998). La enzima es altamente activa en un rango de entre 5-9 pH, de 4 a 75 °C, siendo 50 °C su temperatura óptima y se inactiva cuando se incuba a 80 °C x 15 min. La reacción dominante de esta enzima es el entrecruzamiento de proteínas resultando polímeros de alto peso molecular. La MTGasa lleva a cabo su función en la reestructuración sobre las proteínas miofibrilares solubilizadas para permitir el entrecruzamiento entre proteínas adyacentes (Ramírez y otros, 2000; Téllez Luis y otros, 2002; Uresti y otros, 2004). La reestructuración de productos alimenticios es la principal aplicación de la MTGasa, la cual es utilizada en la actualidad a escala industrial, en ciertos alimentos (Jiménez y otros, 2005).

En el presente trabajo se elabora un producto reestructurado de pescado tipo jamón, con la finalidad de proporcionar valor agregado a la especie como una alternativa de utilización para aprovechar este recurso pesquero. Por su alto contenido de proteína y su bajo contenido graso, la lisa tiene atributos nutricionales importantes y puede ser utilizada para elaborar alimentos saludables.

Materiales y métodos

Con la finalidad de evaluar la tecnología de reestructuración se elaboraron cuatro jamones y un control con respecto al aditivo ligante. Los aditivos utilizados y sus respectivas concentraciones fueron las siguientes: MTGasa al 0.3%; cloruro de calcio al 0.3%; caseinato de sodio al 1% y una mezcla de cloruro de calcio (0.3%) con caseinato de sodio (1%) para evaluar el posible efecto sinérgico de los aditivos.

A los jamones procesados se les determinaron las características de color, capacidad de retención de agua, análisis del perfil de textura, punción y análisis químico proximal. Se realizaron los mismos análisis a seis jamones comerciales de las marcas

San Rafael, Fud y Chimex, con dos variantes de materia prima (cerdo y pavo). Finalmente se compararon los parámetros encontrados en los jamones comerciales con el mejor jamón reestructurado de lisa.

Materia prima

*Filete de pescado (*Mugil cephalus*)*

Para la elaboración de los jamones reestructurados de pescado, se utilizaron filetes frescos de lisa (*Mugil cephalus*). La especie fue capturada en la Laguna Madre y adquirida en presentación de filetes, por la Integradora Pesquera Comercial Acuicola (Ipesca) del municipio de San Fernando. Los filetes se transportaron en hieleras hasta el laboratorio de tecnología de alimentos de la Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa-Aztlán. Se almacenaron en refrigeración hasta el momento del proceso (menos de 24 horas).

Trasglutaminasa microbiana (MTGasa)

La MTGasa utilizada fue ACTIVA™ TG proporcionada por Ajinomoto USA, Inc. (Teaneck, Nueva Jersey). Con una composición del 99% de maltodextrina y 1% de transglutaminasa microbiana activa; con una actividad aproximada de 100 unidades/g. En esta investigación la concentración de la enzima es reportada como la concentración comercial.

Cloruro de calcio

El cloruro de calcio fue adquirido de Mallinckrodt Baker, S.A. de C.V. (Xalostoc, Estado de México).

Caseinato de sodio

El caseinato de sodio fue provisto por American Casein Company (Burlington, Nueva Jersey).

*Elaboración del jamón de lisa (*Mugil cephalus*)*

Se procedió de acuerdo al diagrama de flujo mostrado en la figura 1 para la elaboración de los jamones de pescado.

Descongelado del filete de lisa

Los filetes fueron lavados con agua fría (10 °C) y se escurrieron en un colador, pesando 2.5 kg de filete por jamon, en una balanza digital (Modelo: QT 5000, con capacidad máxima de 5 kg). Posteriormente fueron troceados manualmente, en trozos de cinco centímetros aproximadamente. El filete troceado se guardó en bolsas de polietileno en refrigeración (4 °C) mientras se preparaba la salmuera (1 hora).

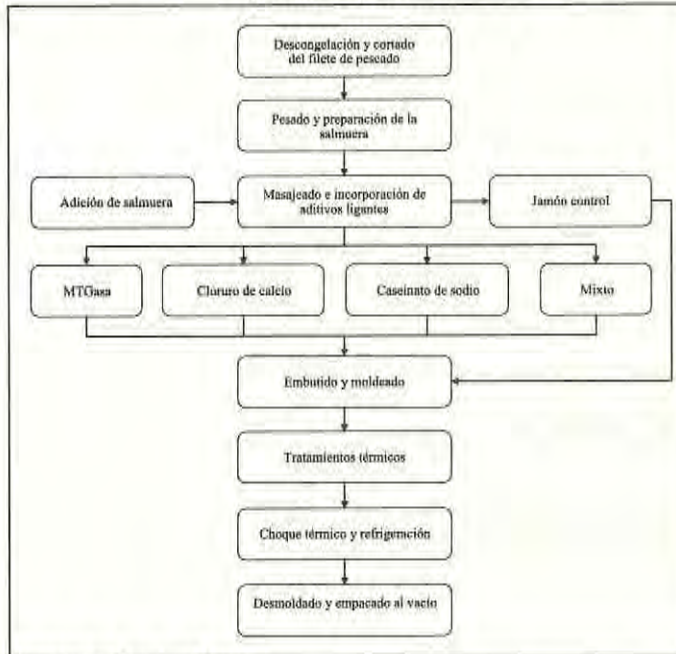
Elaboración de la salmuera

Los ingredientes se mezclaron en orden de aparición y en cantidades necesarias para la elaboración de 150 ml de salmuera, en relación a 2.5 kg de carne de pescado, como se muestra en la tabla 1. La salmuera se adicionó junto con el filete en la masajeadora.

Masajeado

Los filetes ya troceados se introdujeron en la masajeadora mecánica junto con la salmuera durante una hora a una velocidad de 15 rpm, para realizar una mezcla homogénea y extraer la proteína. La masajeadora tiene las siguientes características: el recipiente y las aspas son de aluminio, el eje giratorio que mueve las aspas es de acero inoxidable, su capacidad es de 2.5 kg (mínima) a 7.5 kg (máxima), su velocidad es de 15 rpm.

Figura 1
Diagrama de flujo para la elaboración del jamón de lisa
(Mugil cephalus)



Fuente: Calderón, 2008.

Tabla 1
Formulación de la salmuera para elaborar el jamón de pescado

<i>Ingredientes</i>	<i>Cantidad</i>
Filete de pescado	2.5 kg
Agua fría	150 ml
Sal	40 g
Fosfatos	10 g
Eritorbato de sodio	2 g
Azúcar	3 g
Sales curantes	0.1 g
Condimentos para jamón	25 g
Colorante	1.25 ml

Fuente: Calderón, 2008.

Incorporación de aditivos

Al término de la etapa del masajeo, se adicionaron los aditivos ligantes por separado a la masa cárnica y se mezclaron por 5 *min* en forma homogénea. Éstos fueron pesados en una balanza digital (Modelo: QT 5000, capacidad máxima de 5 *kg*)

Embutido y moldeado

La masa cárnica de pescado, fue introducida en fundas de algodón para evitar la formación de burbujas de aire dentro de pasta y cerrando la funda por ambos lados con hilo de algodón. Una vez embutida la masa cárnica, se introdujo en moldes de acero inoxidable, los cuales tienen un volumen aproximado de 2.5 *kg*.

Tratamientos térmicos

Los moldes de jamón se colocaron en baño maría a 50 °C durante 1 hora, para activar la enzima transglutaminasa microbiana y la TGasa endógena que se encuentra en el filete de pescado. Posteriormente, se introdujeron los moldes en baño maría a 90 °C durante 1 hora para inducir la cocción del jamón y la inactivación total de las enzimas MTGasa y TGasa endógena.

Choque térmico y refrigeración

Después de la cocción los moldes se colocaron en una tina con hielo en escarcha para disminuir la temperatura y provocar un choque térmico asociado con un mejoramiento de la textura. Una vez disminuida la temperatura (10 °C), se refrigeraron los jamones por 12 horas a 4 °C. Posteriormente se desmoldaron y se retiró la funda de algodón, continuando con el empaqueo primario al vacío, con una empacadora (Black & Decker, fresh-Guard, modelo VS200) y un empaque de polipropileno plástico, el cual fue cortado al tamaño del jamón. Finalmente se almacenaron los jamones en refrigeración a 4 °C.

Atributos de color

La reflectancia de los jamones se determinó con un colorímetro portátil (Hunter Lab, MiniScan Xc plus, modelo 45/0-L, Reston VA, Estados Unidos). El cual fue calibrado con una teja blanca y una negra, identificadas como estándares. Las mediciones de color en los jamones se tomaron de seis muestras por tratamiento. Los parámetros obtenidos por el instrumento fueron L , a^* y b^* , los cuales se utilizaron para calcular los valores de C y H respectivamente de acuerdo a las ecuaciones siguientes:

$$C = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

$$H = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$$

Capacidad de retención de agua (CRA)

Se determinó la capacidad de retención de agua (CRA) en forma indirecta utilizando el porcentaje de agua extraída por una fuerza externa (centrifugación). Las muestras de jamón se envolvieron en papel Whatman núm. 1 con un tamaño de 15 x 15 centímetros. Se realizó la determinación por triplicado para cada uno de los tratamientos. Se registraron los pesos iniciales de cada una de las muestras, las cuales fueron envueltas y colocadas en una centrífuga modelo Labnet 2323K (Hermet, Nueva Jersey, Estados Unidos) a 1000 rpm por 5 min. Se registró el peso final de la muestra.

La CRA de los jamones se determinó en forma indirecta utilizando el porcentaje de agua extraída por centrifugación, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\text{Agua extraída (\%)} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

Análisis químico proximal

La determinación del análisis químico proximal (AQP) indica la composición bromatológica de cualquier alimento. Se determinó humedad, cenizas, grasa y proteína a los cinco de jamones de pescado (*Mugil cephalus*) y a tres jamones comerciales con sus dos variantes en materia prima (pavo y cerdo), con la finalidad de comparar calidad nutritiva entre jamones.

Humedad

Para la determinación de humedad se pesaron 5 g de muestra, colocándolos en crisoles previamente tarados e identificados. Posteriormente se metieron en una estufa a una temperatura de 110 °C por 12 horas aproximadamente. Después del tiempo estimado, se colocaron los crisoles en un desecador por 30 *min* para disminuir la temperatura. La diferencia de pesos indica la materia seca, la cual se calculó con la siguiente fórmula:

$$MS (\%) = \frac{M_2 - M_1}{M_3} \times 100$$

Donde:

MS = Materia seca.

M1 = Peso del crisol tarado.

M2 = Peso constante del crisol con la muestra después del secado.

M3 = Peso de la muestra en g.

$$\text{Humedad (\%)} = 100 - \text{SS (\%)}$$

Cenizas

La determinación de cenizas representa el contenido en minerales del alimento y se lleva a cabo mediante la incineración de la muestra. Se pesaron 5 g de muestra, se colocaron en crisoles y se calcinaron en un mechero Bunsen antes de colocarse en la mufla a 560°C por 4 horas aproximadamente y se colocaron en un desecador por 30 *min* para que disminuyera la temperatura. Se tomó el peso final para calcular el porcentaje de cenizas mediante la fórmula:

$$\text{Cenizas (\%)} = \frac{M_2 - M_1}{P} \times 100$$

Donde:

M1 = Peso del crisol tarado.

M2 = Peso del crisol con la muestra después de la incineración.

P = Peso de la muestra en g.

Grasa

La extracción de grasa se realizó en un equipo eléctrico (Soxtec System HT2 1045 Extracción Unit Hogazas, Suecia) mediante solventes específicos. Se tomó 1 g de muestra libre de humedad y se colocó en cartuchos de extracción de celulosa. Se preparó una solución de hexano: acetona (1:1) y se adicionaron 60 ml de ésta en vasos de aluminio del equipo, previamente tarados e identificados. Posteriormente se colocaron los cartuchos de extracción y los vasos metálicos en el equipo Soxtec, a 100 °C durante una hora para hervido de la muestra y una hora para enjuagado. Al término del tiempo fueron retirados los vasos metálicos y colocados en un desecador por 30 min y posteriormente fueron pesados. El porcentaje de grasa se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$G(\%) = \frac{B - A}{C} \times 100$$

Donde:

G = Grasa.

A = Peso inicial del vaso metálico vacío.

B = Peso final del vaso metálico con muestra.

C = peso de la muestra en g.

Proteína

En la determinación de proteína se utilizó el método Kjeldahl, el cual determina el contenido de nitrógeno total de un alimento, después de eliminar la materia orgánica con un ácido fuerte a temperaturas comprendidas entre 360 °C y 410 °C. Se pesó 1 g de muestra homogenizada, se introdujo en un matraz Kjeldahl con 0.7 g de óxido de mercurio, 15 g de sulfato de sodio en polvo, cinco perlas de vidrio y 25 ml de ácido sulfúrico concentrado. El matraz se colocó en el digestor del equipo Kjeldahl por 2 h y se dejó enfriar. Posteriormente se agregaron 200 ml agua destilada, 25 ml de tiosulfato al 8%, 6 granallas de zinc y 37.5 g de hidróxido de sodio. El matraz se colocó en ebullición para destilar el nitrógeno (100 ml), el cual se recibió en un matraz Erlenmeyer con 50 ml de HCl al 0.1 N. Finalmente la solución se tituló con NaOH al 0.1 N. Los cálculos se realizaron mediante el factor alimento 6.25 y la siguiente fórmula:

$$\text{Nitrógeno total (\%)} = \frac{[(A \times N_1) - (B \times N_2)] \times 0.014}{C} \times 100$$

Donde:

A = *ml* de HCl que se mezclaron con la destilación.

N1 = Normalidad del HCl.

B = *ml* de NaOH gastados en la titulación.

N2 = Normalidad del NaOH.

C = *g* de muestra.

Análisis del perfil de textura (TPA)

En la prueba de TPA, las muestras de los jamones fueron cortadas en cubos de 3 *cm* de ancho x 3 *cm* de largo x 2 *cm* de grosor. Por cada tratamiento se analizaron seis repeticiones conservadas en bolsas de plástico para evitar la deshidratación y mantenidas a refrigeración durante 2 horas antes de la determinación de las pruebas mecánicas. Se utilizó un texturómetro TA-XT2i (Stable Micro Systems, Vienna Court, England) con sonda cilíndrica de aluminio (P/50) con 50 *mm* de diámetro. Las muestras se comprimieron al 75% de su altura inicial usando una velocidad de compresión de 1 *mm/seg*. Los datos generados se analizaron con el software incluido con el equipo. Los parámetros calculados de las curvas de TPA fueron dureza, fractura, resortividad, cohesividad y masticabilidad para cada jamón.

Prueba de punción

Las muestras fueron cortadas a una medida de 5 *cm* de ancho y 5 *cm* de largo x 2 *cm* de grosor. La prueba de punción se efectuó con un texturómetro TA-XT2i (Stable Micro Systems, Viena Court, England) con una sonda esférica de acero inoxidable de ½ pulgada de diámetro (P/0.5S). Las muestras fueron presionadas hasta 80% de la altura inicial, a una velocidad de 1 *mm/seg*. Se determinaron la fuerza de ruptura o fractura (*g*), distancia (*cm*) y la fuerza gel.

Prueba del consumidor

Se trabajó con un grupo de 35 panelistas para evaluar la aceptación de los jamones de pescado con una escala hedónica de siete puntos de acuerdo a la siguiente clasificación: 1) me disgusta mucho; 2) me disgusta; 3) me disgusta poco; 4) ni me gusta, ni me disgusta; 5) me gusta poco; 6) me gusta; 7) me gusta mucho. Los parámetros evaluados en los jamones de pescado fueron: apariencia general, color, olor, sabor y textura.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó utilizando el programa Statgraphics 5.0 (Software Publishing Corporation, Bitstram Inc.). Utilizando un diseño multifactorial y análisis de varianza, con la prueba de rangos múltiples LSD para determinar diferencias significativas ($P < 0.05$) entre jamones.

Resultados

Como se ha mencionado la lisa (*Mugil cephalus*) representa la principal captura de especies de escama en Tamaulipas y el segundo volumen de captura del estado. En la entidad se captura poco más del 50% del volumen nacional de esta especie, principalmente en la Laguna Madre. Sin embargo, pese a su abundancia tiene uno de los más bajos precios de venta, principalmente asociado por su coloración oscura y su fuerte sabor, que en ocasiones puede adquirir un gusto a fango o lodo. La composición química varía dependiendo de la época del año y su alimentación. Al igual que la mayoría de las especies de pescado tiene un elevado contenido de proteínas, el cual puede variar de 15 a 20% (tabla 2). Se considera una especie semigrasa y su contenido varía de 1 a 5% (Ramírez y otros, 2006a).

Su alto contenido de proteína y su baja cantidad de grasas son atributos nutricionales importantes que pueden ser empleadas para la elaboración de alimentos saludables.

En el presente estudio se desarrollaron productos reestructurados tipo jamón, a partir del músculo de lisa, evaluando el efecto de aditivos ligantes en su composición química, sus propiedades mecánicas, su capacidad de retención de agua y sus atributos de color.

Tabla 2
Composición química de la lisa (*Mugil cephalus*)

<i>Nutriente</i>	<i>Gopakumar (1997)</i>	<i>Montejano y Morales (1999)</i>	<i>Ramírez y otros, (2006a)</i>
Humedad (%)	74.9	80.1	80.9
Proteína (%)	20.8	16.75	17.2
Cenizas (%)	0.6	0.37	0.2
Grasa (%)	5.1	2.39	1.2

Fuente: Calderón, 2008.

Análisis químico proximal del jamón de lisa

El análisis químico proximal de los jamones de pescado, se muestra en la tabla 3. Los resultados encontrados indican que los jamones no presentaron diferencia en su composición química por efecto del aditivo ligante utilizado. Esto debido principalmente a que se utilizó un mismo lote de pescado para todos los productos. En el caso del tratamiento con caseinato de sodio, sólo se adicionó 1% (peso/peso) de esta proteína con relación al peso húmedo de la materia prima.

El porcentaje de proteínas que presentaron los jamones de pescado varió de 18.05 a 18.88 por ciento. Este contenido fue similar al que se indica para los jamones de alta calidad en el mercado (prime, extra o extrafino) de acuerdo a lo establecido (NOM-158-SCFI-2003). El porcentaje de grasa varió entre 1.75 y 2.60%, siendo un valor menor al que especifica la norma para jamones comerciales (6 a 10% grasa). El porcentaje de humedad en los jamones de pescado (76.19 a 77.43%) fue similar a lo especificado por la norma (75 a 76 por ciento). El jamón es un alimento proteico de alto consumo y de buen precio en el mercado, que se elabora tradicionalmente a partir de carne de cerdo y en fechas recientes a partir de la carne de pavo.

Tabla 3
Análisis químico proximal de los jamones de lisa

<i>Tratamiento</i>	<i>Humedad</i> %	<i>Proteína</i> %	<i>Grasa</i> %	<i>Cenizas</i> %
MTGasa	77.26 (0.11)	18.50 (0.11)	2.00 (0.03)	2.23 (0.10)
Caseinato de Sodio	77.43 (0.28)	18.57 (0.29)	1.75 (0.15)	2.24 (0.08)
Cloruro de Calcio	76.19 (1.19)	18.80 (1.15)	2.65 (0.15)	2.35 (0.03)
Mixto	76.45 (1.44)	18.66 (1.51)	2.60 (0.06)	2.28 (0.03)
Control	77.55 (0.15)	18.05 (0.19)	2.16 (0.03)	2.24 (0.04)

Fuente: Valores promedio del análisis por triplicado; Calderón, 2008, el paréntesis indica la desviación estándar.

Los resultados obtenidos de la composición química del jamón de pescado indican que este producto es igual de nutritivo que el jamón comercial de cerdo y pavo

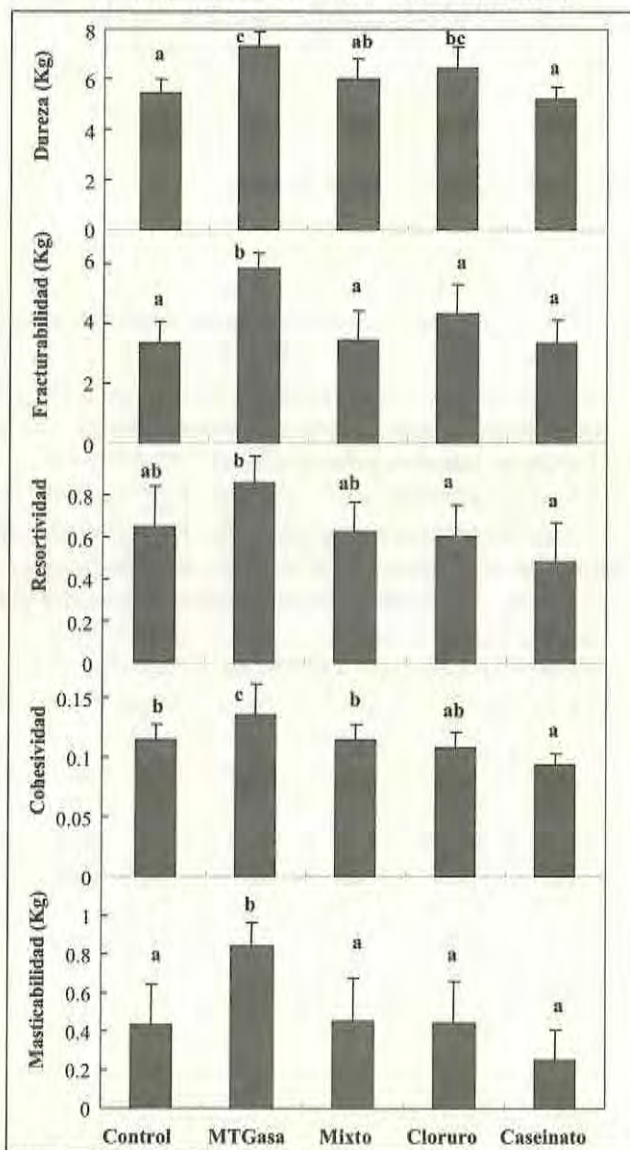
al ofrecer el mismo contenido proteico. Por su menor contenido de grasa, el jamón de pescado puede competir en el nicho de mercado de los alimentos saludables, en el que se encuentra el jamón de pavo, el cual es considerado como un jamón saludable por ser bajo en grasa. Es importante destacar que la grasa de pescado contiene un perfil de ácidos grasos más saludables, al ser poliinsaturados, ricos en Omega 3 y 6 y tener un bajo contenido de colesterol.

Propiedades mecánicas del jamón de lisa

La figura 2 muestra el efecto de los aditivos ligantes sobre los parámetros de textura de los jamones de pescado. La dureza de los jamones varió de 5.241 a 7.332 *kg*; la fracturabilidad de 3.254 a 5.656 *kg*; la resortividad de 0.482 a 0.857 *kg*; la cohesividad de 0.094 a 0.136 y la masticabilidad de 0.252 a 0.842 *kg*. Los jamones adicionados con transglutaminasa microbiana presentaron los valores más altos de textura. La muestra conteniendo cloruro de calcio presentó mayor dureza que el tratamiento control ($P < 0.05$). Todos los jamones mostraron baja cohesividad.

En la figura 3 se muestra el efecto de los aditivos ligantes sobre los parámetros de textura obtenidos mediante la prueba de punción. La fuerza de ruptura varió de 0.412 a 0.968 *kg*, la deformación varió de 5.78 a 7.04 *mm* y la fuerza de gel de 2.382 a 7.457 *kg mm*. Este método de análisis mostró mayor eficiencia para determinar el efecto de los aditivos ligantes sobre las propiedades mecánicas de los jamones de pescado. Los jamones conteniendo transglutaminasa microbiana presentaron los valores más altos de fuerza de ruptura y fuerza de gel ($P < 0.05$). La adición de cloruro de calcio o de caseinato de sodio incrementó la fuerza de ruptura y la fuerza de gel de los jamones, con respecto al tratamiento control, pero en menor nivel que el obtenido por la transglutaminasa microbiana. Sin embargo, la adición de caseinato de sodio y cloruro de calcio en forma combinada no mejoró las propiedades mecánicas del jamón. El incremento en las propiedades mecánicas de los jamones adicionados con MTGasa, se debe a que la enzima induce la formación de enlaces covalentes isopeptídicos entre los residuos de ϵ -lisil y γ -glutamil de proteínas miofibrilares adyacentes, favoreciendo la formación de una red tridimensional más fuerte (Téllez y otros, 2004).

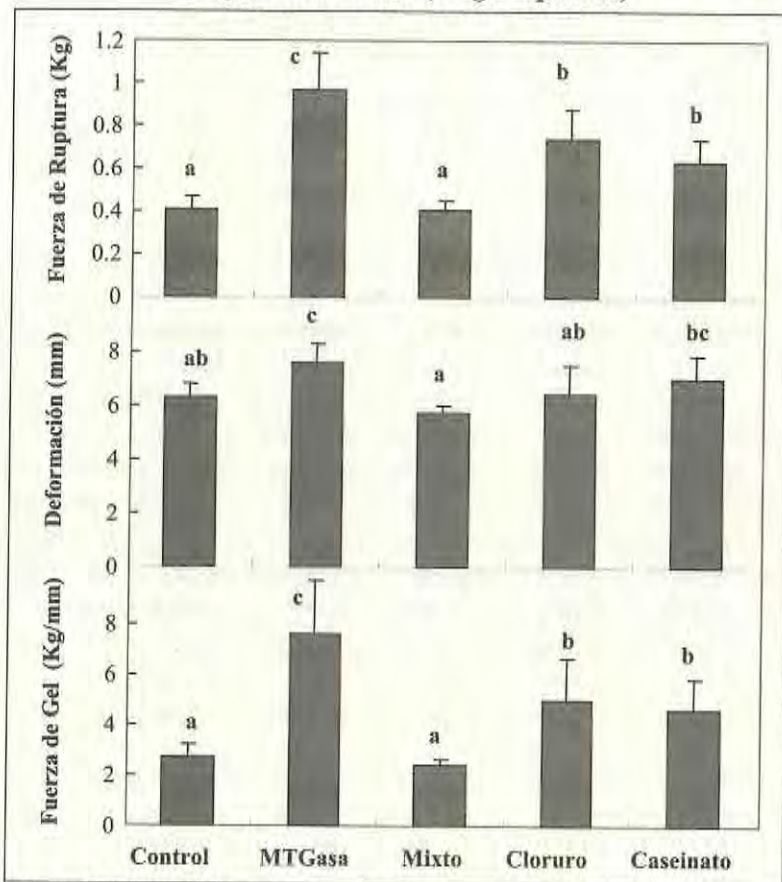
Figura 2
Efecto de los aditivos ligantes en los parámetros de TPA
de los jamones de lisa (*Mugil cephalus*)



Fuente: Calderón, 2008.

a, b, c, letras distintas indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

Figura 3
Efecto de los aditivos ligantes en prueba de punción de los jamones de lisa (*Mugil cephalus*)



Fuente: Calderón, 2008.

a, b, c, letras distintas indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

La MTGasa se utiliza en la preparación de diversos productos cárnicos mejorando las propiedades de gelificación. Su efecto depende de la adición de sal (Uresti y otros, 2004). La solubilización de las proteínas miofibrilares es indispensable en la elaboración de alimentos musculares reestructurados, ya que esta actividad cambia la conformación de las proteínas al modificar las fuerzas electrostáticas que favorecen interacciones entre cadenas proteicas adyacentes (Ramírez y otros, 2000). La

reducción de sal en la elaboración de productos reestructurados de pescado produce una disminución significativa de las propiedades fisicoquímicas (Tellez y otros, 2002). En este trabajo se adicionó 2% de sal total lo que favoreció el efecto de la MTGasa.

En fecha reciente se estableció que el músculo de la lisa capturada en la Laguna Madre Tamaulipas, puede ser procesado como surimi. La incorporación de la enzima transglutaminasa microbiana permitió triplicar el valor de las propiedades mecánicas de los geles de surimi, con respecto a los geles obtenidos sin la adición de transglutaminasa microbiana (Ramírez y otros, 2000).

El empleo de cloruro de calcio en la elaboración de jamones de lisa tuvo como objetivo incrementar la actividad de la transglutaminasa endógena, ya que este catión divalente actúa como cofactor de la enzima (Morales y otros, 2001). La presencia de la TGasa endógena en músculo de lisa ha sido reportada previamente. El músculo de lisa lavado y solubilizado con 2.5% de sal presentó el fenómeno de gelificación a baja temperatura (*setting* o *suwari*), al incubarse a 40 °C; este fenómeno es causado por la presencia y actividad de la enzima transglutaminasa endógena, la cual actúa con mayor facilidad durante la etapa de desnaturalización térmica que permite exponer los grupos reactivos de las proteínas y se ve desfavorecida durante la posterior agregación irreversible. En la especie lisa, el desdoblamiento de las proteínas miofibrilares previo a su agregación se favorece en temperaturas cercanas a los 40 °C (Ramírez y otros, 2000). La incorporación de 0.4% de cloruro de calcio a la pasta de lisa durante la etapa de solubilización, permitió duplicar las propiedades mecánicas con respecto a los geles de surimi control que no fueron adicionados con calcio (Ramírez y otros, 2003).

Los productos reestructurados de pescado pueden ser complementados con aditivos para mejorar sus propiedades mecánicas. Los productos reestructurados obtenidos del músculo de pescado sin lavar presentan bajas propiedades mecánicas, las cuales pueden ser incrementadas ligeramente mediante la adición de pectinas amidadas de bajo metoxilo. Uresti y otros (2002) reportaron un incremento en las propiedades mecánicas de geles de lenguado conteniendo 1% de pectina amidadas, en tanto que Ramírez y otros (2006b) encontraron el mismo efecto en geles de lisa. Este hidrocoloide es considerado un ingrediente funcional, porque su consumo se asocia con una disminución del colesterol sérico (Wolfran y otros, 2002; Wu y otros, 2003). Sin embargo, al adicionar pectinas amidadas de bajo metoxilo, en combinación con la enzima transglutaminasa microbiana, se obtuvo un efecto disruptivo (Uresti y otros, 2003), por lo que no se usaron en este estudio.

La adición de caseinato de sodio al 1% (peso/peso), permitió mejorar las propiedades mecánicas de geles de carpa plateada (*Hypophthalmichthys molitrix*); (Uresti y otros, 2004). A este respecto, Kilic (2003) reportó que la transglutaminasa microbiana

tuvo un mayor efecto sobre las propiedades mecánicas de productos reestructurados de pollo al ser adicionada junto con caseinato de sodio.

En el presente estudio se observó un incremento en las propiedades mecánicas de los jamones con 1% de caseinato de sodio. Sin embargo este incremento no fue superior al observado con cloruro de calcio, un aditivo de menor costo; además la incorporación de ambos aditivos en forma combinada no resultó en un efecto positivo sobre las propiedades mecánicas, con respecto al producto control.

Capacidad de retención de agua del jamón de lisa

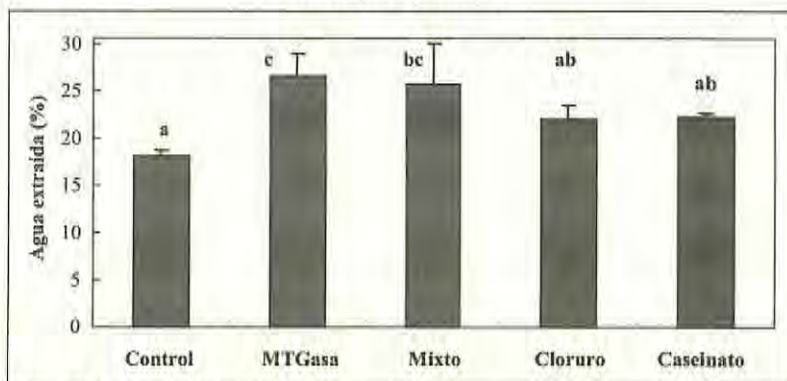
El efecto de la incorporación de los aditivos ligantes en los jamones de lisa, se muestra en la figura 4. El contenido de agua extraída está inversamente asociado con la capacidad de retención de agua (CRA), un bajo porcentaje de agua extraída, significa un porcentaje alto de CRA (Uresti y otros, 2003). El porcentaje de agua extraída varió de 18.12 a 26.48 por ciento. El porcentaje más bajo de agua extraída correspondió al jamón control, mientras que el porcentaje más alto fue el de las muestras donde se utilizó MTGasa. Ramírez y otros (2006b) reportaron una disminución sobre la capacidad de retención de agua en geles de pescado al utilizar MTGasa, asociándolo con la formación de geles más rígidos. Tseng y otros (2002) señalan que la disminución de la CRA en geles musculares, se debe a que la enzima favorece las interacciones proteína-proteína, disminuyendo las interacciones agua-proteína. Sin embargo, algunos autores han encontrado un efecto positivo en la CRA de geles obtenidos con la enzima MTGasa. Pietrasik (2002b) indicó que la adición de 0.5% de MTGasa tuvo un efecto favorable sobre las propiedades de retención de agua en geles de músculo de res. Tseng y otros (2002), reportaron que la adición de MTGasa redujo las pérdidas por cocimiento en geles de pollo.

La adición de cloruro de calcio y caseinato no modificó significativamente la CRA con respecto al valor de CRA del jamón control ($P < 0.05$).

Atributos de color del jamón de lisa

El efecto de los aditivos ligantes sobre los atributos de color se muestra en la tabla 4. Se observaron cambios pequeños en estos atributos por efecto de los agentes ligantes utilizados. L^* mostró una variación de 70.27 a 73.23. El jamón adicionado con cloruro de calcio mostró el máximo valor de L^* , el cual fue significativamente mayor

Figura 4
Contenido de agua extraída de los jamones de lisa
(Mugil cephalus)



Fuente: Calderón, 2008.

a, b, c, letras distintas indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

que el control (70.83). El parámetro a^* varió de 3.05 a 3.88, sin que ningún jamón fuese significativamente diferente al tratamiento control sin aditivos. Los valores positivos para este parámetro, corresponden al matiz rojo. El parámetro b^* varió de 10.82 a 11.77 que corresponde a tonalidades amarillas. El jamón conteniendo caseinato de sodio mostró el máximo valor de b^* , significativamente mayor que el valor del jamón control. El croma varió de 11.5 a 12.2; los jamones elaborados con MTGasa y caseinato de sodio presentaron valores similares de croma y estadísticamente mayores que el jamón control, lo que señala una mayor intensidad de coloración. El matiz varió de 70.24 a 74.61, sin presentarse una diferencia significativa entre el jamón control y los jamones adicionados con diferentes ligantes. Esto significa que el matiz o tono fue similar en todos los jamones, asociado a que la coloración se debe principalmente a la interacción del pigmento muscular, mioglobina con los nitritos de la formulación, para formar nitrosomioglobina, que durante la cocción resulta la tonalidad rosácea característica de los embutidos curados cocidos.

Tabla 4
Efecto de los aditivos en los atributos de color de los jamones de lisa

<i>Tratamiento</i>	<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	<i>Croma</i>	<i>Hue</i>
Control	70.83 ^{ab} (0.66)	3.45 ^{abc} (0.64)	11.08 ^{ab} (0.81)	11.63 ^a (0.66)	72.58 ^{ab} (3.9)
MTGasa	70.27 ^a (1.14)	3.77 ^{b^c} (0.32)	11.65 ^{bc} (0.54)	12.25 ^b (0.56)	72.05 ^{ab} (1.37)
Mixto	71.87 ^b (1.32)	3.88 ^c (0.27)	10.82 ^a (0.55)	11.5 ^a (0.54)	70.24 ^a (1.52)
Cloruro de calcio	73.23 ^c (1.0)	3.05 ^a (0.15)	11.12 ^{abc} (0.41)	11.53 ^a (0.39)	74.61 ^b (1.04)
Caseinato de sodio	71.64 ^b (1.1)	3.34 ^{a^b} (0.47)	11.77 ^c (0.3)	12.25 ^b (0.23)	74.12 ^b (2.4)

Fuente: Calderón, 2008.

a, *b*, *c*, letras distintas indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

Los valores entre paréntesis indican la desviación estándar.

Prueba del consumidor

Se realizaron pruebas de consumidor al jamón de pescado un día después de su elaboración, con un grupo de 35 personas con edades que variaban de los 18 a los 60 años. Los resultados mostrados en la tabla 5 indican que el producto fue aceptado por los consumidores. El 94.28% evaluó el parámetro de aspecto general como “me gusta mucho” y “me gusta”. El color fue igualmente aceptado por 87.71%; el sabor por 97.14%; el olor por 97.13% y la textura por 88.57 por ciento. Sólo 2.85% de los panelistas calificaron al producto con “me disgusta poco” en el color.

La aceptación del consumidor del producto final se muestra en la figura 5a. El 94% de la población encuestada mencionó que “no” conocía el producto y 97% manifestó que sí lo compraría (figura 5b). Esta aceptación coincide con los resultados de la prueba organoléptica y permiten concluir que el jamón de pescado es un producto con buena aceptación por parte del público consumidor.

Tabla 5
Pruebas del consumidor del jamón de pescado

<i>Atributo</i>	<i>Apariencia General (%)</i>	<i>Color (%)</i>	<i>Olor (%)</i>	<i>Sabor (%)</i>	<i>Textura (%)</i>
Me gusta mucho	45.71	48.57	45.71	60	48.57
Me gusta	48.57	37.14	51.42	37.14	40
Me gusta poco	5.71	11.42	2.85	0	11.42
Ni me gusta ni me disgusta	0	0	0	2.85	0
Me disgusta poco	0	2.85	0	0	0
Me disgusta	0	0	0	0	0
Me disgusta mucho	0	0	0	0	0

Fuente: Calderón, 2008.

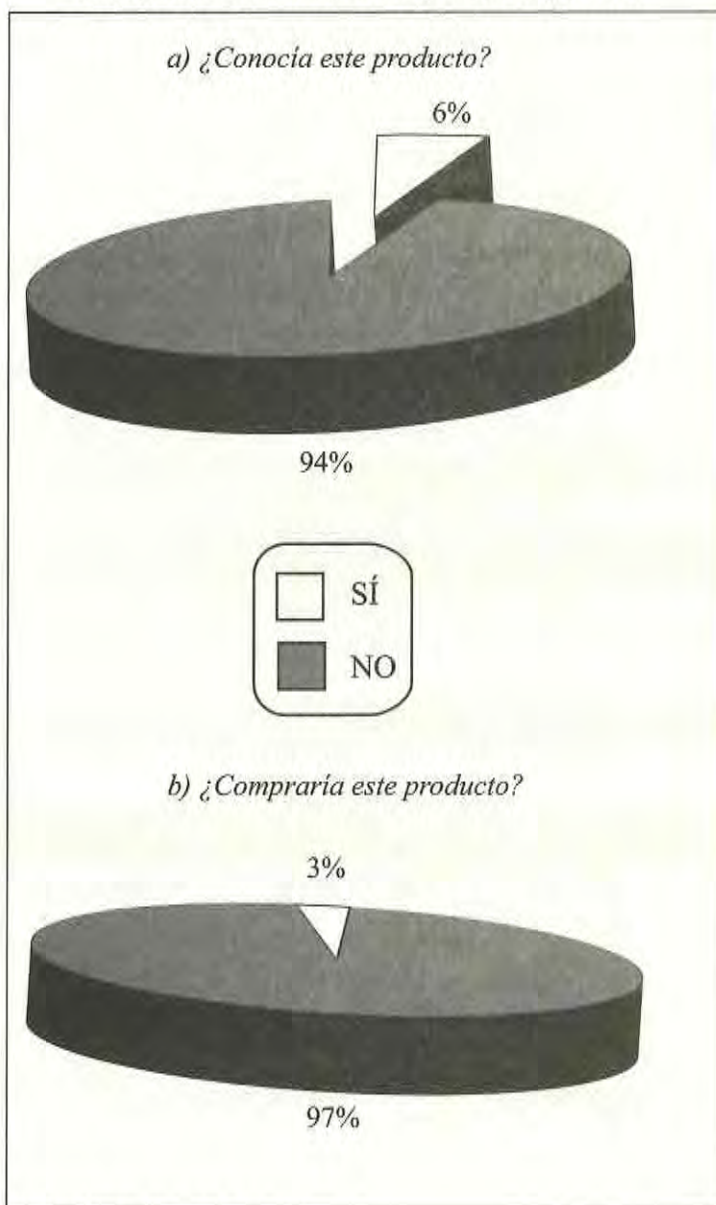
Comparación de las propiedades del jamón de lisa con las propiedades de jamones de cerdo y pavo comerciales

Se realizó un estudio para determinar si las características de textura, capacidad de retención de agua y color del jamón de pescado adicionado con transglutaminasa microbiana fueron similares a las propiedades de los jamones comerciales.

Composición química de los jamones comerciales

En este análisis se encontró que el contenido de proteínas del jamón de pescado (tabla 3) fue similar al declarado (Anexo 1) para los jamones de alta calidad de acuerdo al valor establecido por la NOM-158-SCFI-2003. El contenido de grasa de pescado fue inferior al contenido de grasa para los jamones de primera calidad. El contenido de agua fue igual al establecido en la norma. Estos resultados indican que el jamón de pescado puede ser comercializado como un producto de alta calidad nutricional. También es importante, que por su origen, puede ser declarado bajo en grasa, bajo en colesterol y bajo en ácidos grasos saturados. Esto lo coloca en el nicho de mercado de los alimentos saludables.

Figura 5
Pruebas de consumidor del jamón de pescado



Fuente: Calderón, 2008.

Propiedades mecánicas de los jamones comerciales

Los parámetros del perfil de textura analizados en los jamones comerciales se muestran en la figura 6. El parámetro de dureza en los jamones comerciales varió de 9.9 a 21.01 kg y la fracturabilidad de 9.08 a 14.70 kg. Los jamones de pierna y pavo de la marca San Rafael comercializados como productos finos, de alto contenido en proteína muscular, mostraron los valores más altos en ambos parámetros, en tanto que los jamones de la marca Chimex, comercializados como productos comerciales, conteniendo menor concentración de proteína miofibrilar y adicionados con fécula de maíz, presentaron los valores más bajos de ambos parámetros de textura. El jamón de pescado elaborado con MTGasa, presentó valores de dureza y fracturabilidad de 7.33 y 5.65 kg respectivamente. Estos valores no fueron diferentes significativamente ($P < 0.05$) a los obtenidos por los jamones comerciales Chimex.

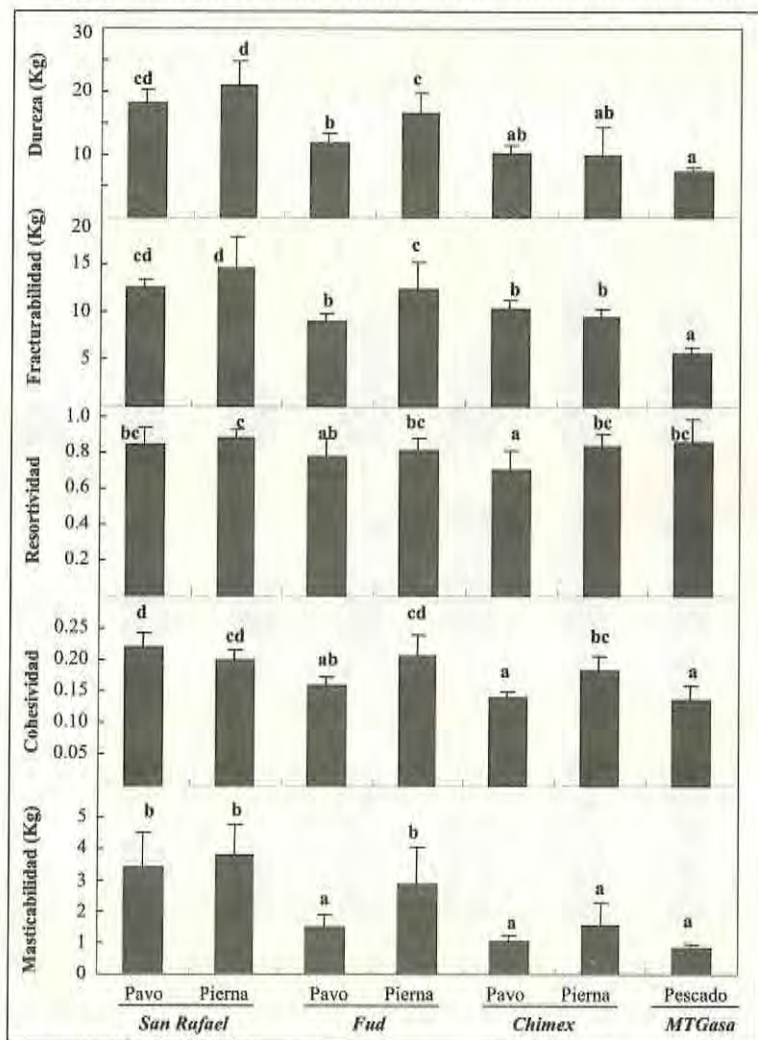
La resortividad varió de 0.71 a 0.89 en los jamones comerciales. El valor máximo se obtuvo en el jamón San Rafael (pierna) y fue muy similar al valor del jamón de pescado elaborado con MTGasa (0.85). La cohesividad fue muy baja en todas las muestras de jamones comerciales, variando de 0.14 a 0.21. El valor máximo lo presentó el jamón San Rafael (pavo) y el valor mínimo el jamón Chimex (pavo). El jamón de pescado presentó un valor de 0.13 que no fue diferente al de los jamones Chimex y Fud de Pavo. En la masticabilidad, los valores variaron de 1.03 a 3.81 kg. El máximo valor correspondió al jamón San Rafael (pierna) y el mínimo al jamón de Pavo Chimex. La masticabilidad del jamón de pescado no fue diferente significativamente a la de los jamones de pavo Chimex y Fud.

La diferencia en los valores de textura de los jamones comerciales está asociada con una diferencia en el contenido de proteínas musculares, que son responsables de las propiedades mecánicas de los productos cárnicos. También se vio influenciada por el uso de aditivos alimentarios en la formulación de los productos. A este respecto, Pietrasik y Li-Chan (2002) demostraron que la carragenina al 0.5% incrementó la dureza y fracturabilidad de geles de res, pero no mejoró la elasticidad y la cohesividad. La adición de MTGasa (0.5%) en combinación con albúmina de huevo (EA, 2%) incrementaron la cohesividad. Sakamoto y otros (1994) encontraron que las proteínas de huevo blanco actúan como sustratos de la MTGasa, realzando las propiedades de gelificación. Pietrasik y Li-Chan (2002) reportaron que dureza y masticabilidad de geles de carne de puerco generalmente incrementan con aumentos de sal y de MTGasa.

Los parámetros de punción se muestran en la figura 7. Los valores de fuerza de ruptura variaron de 1.57 a 3.39 kg. La fuerza de ruptura más alta correspondió a la marca San Rafael (pierna), mientras que la fuerza de ruptura mínima la presentó

la marca Chimex (pavo). En la deformación, el valor máximo correspondió al jamón Fud pavo (15.08 mm) y la deformación mínima se presentó en el jamón Chimex (pavo) con 11.24 mm.

Figura 6
Parámetros de TPA en jamones comerciales y de pescado

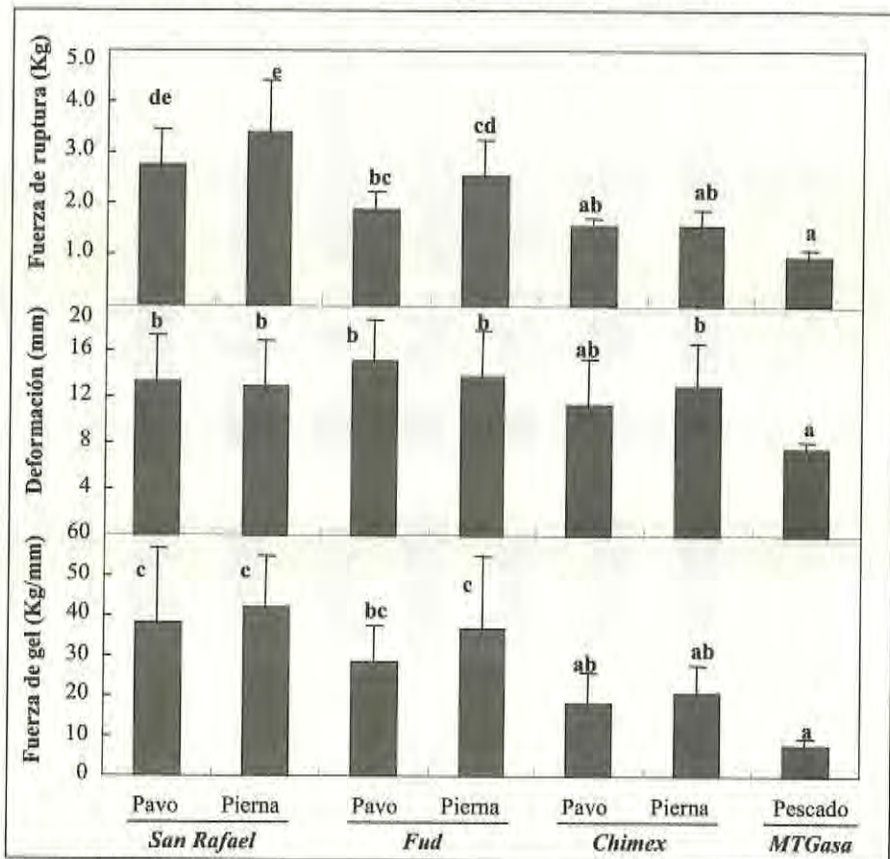


Fuente: Calderón, 2008.

a, b, c, letras distintas indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

Los valores de fuerza de gel variaron de 17.90 a 41.77 kg/mm. La mejor fuerza de gel la presentó la marca comercial San Rafael en sus dos variantes de materia prima; la marca Chimex presentó la menor fuerza de gel. El jamón de lisa presentó valores más bajos de fuerza de ruptura, deformación y fuerza de gel que los valores encontrados para jamones comerciales. Sin embargo, estos valores no fueron diferentes significativamente a los valores encontrados en el jamón comercial de pavo de la marca Chimex.

Figura 7
Prueba de punción en jamones comerciales y de pescado



Fuente: Calderón, 2008.

a, b, c, letras distintas indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

Los resultados encontrados muestran que el jamón de lisa presenta valores de textura muy bajos, pero similares a los valores de los productos comerciales de menor calidad que existen en el mercado. La comercialización de este producto requiere buscar una forma de incrementar sus propiedades mecánicas. Es probable que el empleo de un lavado con agua fría, en forma similar al que se emplea en la elaboración de productos de surimi permita incrementar la concentración de proteínas musculares y con ello mejorar las propiedades mecánicas.

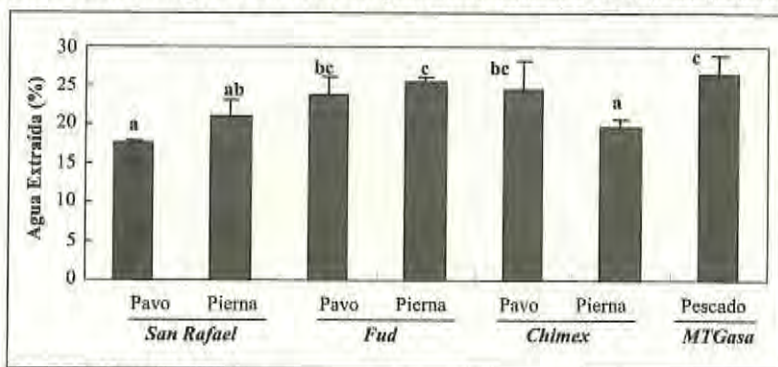
Capacidad de retención de agua de los jamones comerciales

Los valores de agua extraída (figura 8) variaron de 17.49 a 25.42 por ciento. Los jamones de pavo y pierna San Rafael, y de pierna Chimex presentaron la menor cantidad de agua extraída o máxima capacidad de retención de la misma. El jamón de pescado presentó el mas bajo valor de CRA, pero no fue estadísticamente diferente ($P < 0.05$) al valor de los jamones de pavo y pierna Fud y al del jamón de pavo Chimex. Se asume que el valor de CRA en el pescado fue menor, debido a que los jamones comerciales utilizan aditivos estabilizantes como la carragenina, proteína aislada o fécula permitidos por la NOM-158-SCFI-2003, los cuales mejoran la CRA. La carragenina se utiliza en la industria cárnica para mejorar las propiedades de hidratación y estabilidad térmica, reduciendo las pérdidas por cocción. Pietrasik (2002) demostró que la adición de carragenina disminuyó significativamente el porcentaje de agua extraída después de la centrifugación, indicando que el hidrocoloide mejoró la retención de agua en geles de res. Sin embargo existen algunos reportes que fundamentan que la carragenina no tiene influencia sobre las propiedades de hidratación (Mittal y Barbut, 1994). Las discrepancias observadas en el efecto de la carragenina sobre las propiedades de retención y otros atributos se deben a una variedad de factores como formulaciones, funcionalidad de las proteínas, condiciones de cocción (Pietrasik, 2002).

Atributos de color de los jamones comerciales

Los valores de los atributos de color de los jamones comerciales y el jamón de pescado obtenido con transglutaminasa microbiana se muestra en la tabla 6. El atributo L^* mostró una variación de 57.29 a 61.53 en los jamones comerciales, con diferencias pequeñas aunque significativas entre productos ($P < 0.05$). El jamón de pescado

Figura 8
Contenido de agua extraída en jamones comerciales y de pescado



Fuente: Calderón, 2008.

mostró un valor de L^* de 70.27, el cual fue significativamente mayor que el de los jamones comerciales los cuales presentaron valores de a^* que variaron de 12.62 a 16.76 y valores de b^* entre 9.69 y 11.71. Ambos parámetros variaron poco pero significativamente entre jamones comerciales. El jamón de pescado presentó un valor en a^* de 3.77 el cual fue significativamente más pequeño ($P < 0.05$) que el de los jamones comerciales, indicando una tonalidad menos rojiza. El valor en b^* fue de 11.65 difiriendo poco aunque significativamente de algunos jamones comerciales.

El croma (C) de los jamones comerciales varió de 16.82 a 19.61 y el matiz (H) varió de 31.26 a 43.06. El jamón de pescado presentó un valor de croma significativamente menor (12.25) y un matiz significativamente más alto (72.05). La diferencia de matiz, con un valor más alto indica una coloración menos rojiza y el menor valor de croma señala menor intensidad. El efecto combinado de esta tonalidad menos rojiza y de menor intensidad, con el valor más alto de luminosidad (L^*), indica que el jamón de pescado tuvo un color más claro o tenue que el de los jamones comerciales. La diferencia está asociada con el uso de colorantes sintéticos en los productos comerciales y que se declaran en la etiqueta de los productos.

El color rosado de los jamones está dado principalmente por la acción de los nitritos y nitratos sobre la mioglobina muscular, formándose el pigmento nitrosomioglobina, que durante la cocción confiere un color rosado característico. Sin embargo el uso de aditivos modifica el color de los productos cárnicos, por lo que se requiere un colorante para mantener un color uniforme entre lotes y productos. A este respecto, Pietrasik (2002), evaluó los parámetros de color en geles de res con diferentes aditivos, encontrando que la adición de albúmina de huevo al 2% produjo un incremento

en la brillantez y amarillez, disminuyendo la tonalidad rojiza. En tanto que la adición de carragenina al 0.5% (k-CGN), disminuyó el valor de los parámetros L^* y b^* , incrementando el parámetro a^* . La adición de MTGasa (0.5%) no produjo cambios en los parámetros de color en geles reestructurados de res. Dimitrakopoulou y otros (2005), reportaron que el nivel de sal empleado afectó significativamente el color en productos reestructurados de puerco. La brillantez (L) y la amarillez (b^*) de los reestructurados de puerco incrementaron, mientras que la tonalidad rojiza (a^*) disminuyó al reducir la concentración de sal de 2 a 1 por ciento. Mientras que el nivel de transglutaminasa (0.075 y 0.15%) no tuvo un efecto significativo sobre los atributos de color en los reestructurados. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Tseng y otros (2002), quienes no encontraron cambios en los atributos de color de carne de pollo por efecto de la adición de transglutaminasa.

El uso de colorante en los jamones comerciales explica la uniformidad en el color de los diferentes productos y la diferencia con el color del jamón de pescado.

Tabla 6
Medida de los atributos de color en los jamones comerciales y de pescado

<i>Producto comercial</i>	<i>L</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	<i>Croma</i>	<i>Hue</i>
San Rafael (pavo)	57.29 ^a (1.82)	13.57 ^{bc} (0.60)	11.46 ^{bc} (0.54)	17.77 ^{cd} (0.56)	40.20 ^{ed} (1.89)
San Rafael (pierna)	61.52 ^{bc} (5.32)	13.73 ^c (1.22)	9.69 ^a (0.52)	16.82 ^b (1.06)	35.32 ^b (2.75)
Fud (pavo)	60.29 ^{ab} (2.02)	13.15 ^{bc} (0.74)	10.92 ^b (0.62)	17.12 ^{bc} (0.43)	39.73 ^c (2.89)
Fud (pierna)	64.47 ^c (5.06)	12.62 ^b (1.70)	11.71 ^c (0.79)	17.26 ^{bc} (1.26)	43.06 ^d (4.57)
Chimex (pavo)	60.16 ^{ab} (1.48)	16.76 ^d (0.44)	10.17 ^a (0.36)	19.61 ^e (0.46)	31.26 ^a (1.01)
Chimex (pierna)	61.53 ^{bc} (2.09)	14.21 ^c (0.75)	11.46 ^{bc} (0.21)	18.27 ^d (0.61)	38.92 ^c (1.54)
Pescado (MTGasa)	70.27 ^d (1.14)	3.77 ^a (0.32)	11.65 ^c (0.54)	12.25 ^a (0.56)	72.05 ^e (1.37)

Fuente: Calderón, 2008.

Los valores entre paréntesis indican la desviación estándar.

a, b, c, letras distintas indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

Conclusiones

La adición de agentes ligantes permitió obtener jamones reestructurados de lisa (*Mugil cephalus*) con diferentes propiedades mecánicas. El jamón elaborado con transglutaminasa microbiana presentó los valores más altos de textura y su composición química corresponde a la de un jamón comercial extrafino, con un alto contenido de proteína (18%) y un bajo contenido de grasa (2 por ciento). Sin embargo presentó baja capacidad de retención de agua, una coloración menos intensa que los jamones comerciales de menor calidad. El jamón de pescado no presentó valores de textura diferentes significativamente ($P < 0.05$) a los jamones comerciales de cerdo y pavo. En la prueba de consumidor del producto final el 94.28% de la población encuestada calificó favorablemente los atributos organolépticos del producto.

Los resultados obtenidos en este estudio indican que es posible obtener un producto de pescado tipo jamón de alto valor nutritivo a partir de lisa (*Mugil cephalus*). Este alimento es rico en proteínas y bajo en grasa, tiene menor contenido de colesterol y la grasa es rica en ácidos grasos poliinsaturados que se consideran más saludables. La elaboración del jamón de lisa es una tecnología que permite aprovechar uno de los recursos pesqueros más abundantes en Tamaulipas ofreciendo una nueva opción al consumidor así como un beneficio al sector pesquero.

Apéndice

Elaboración de jamón de pescado (*Mugil cephalus*)

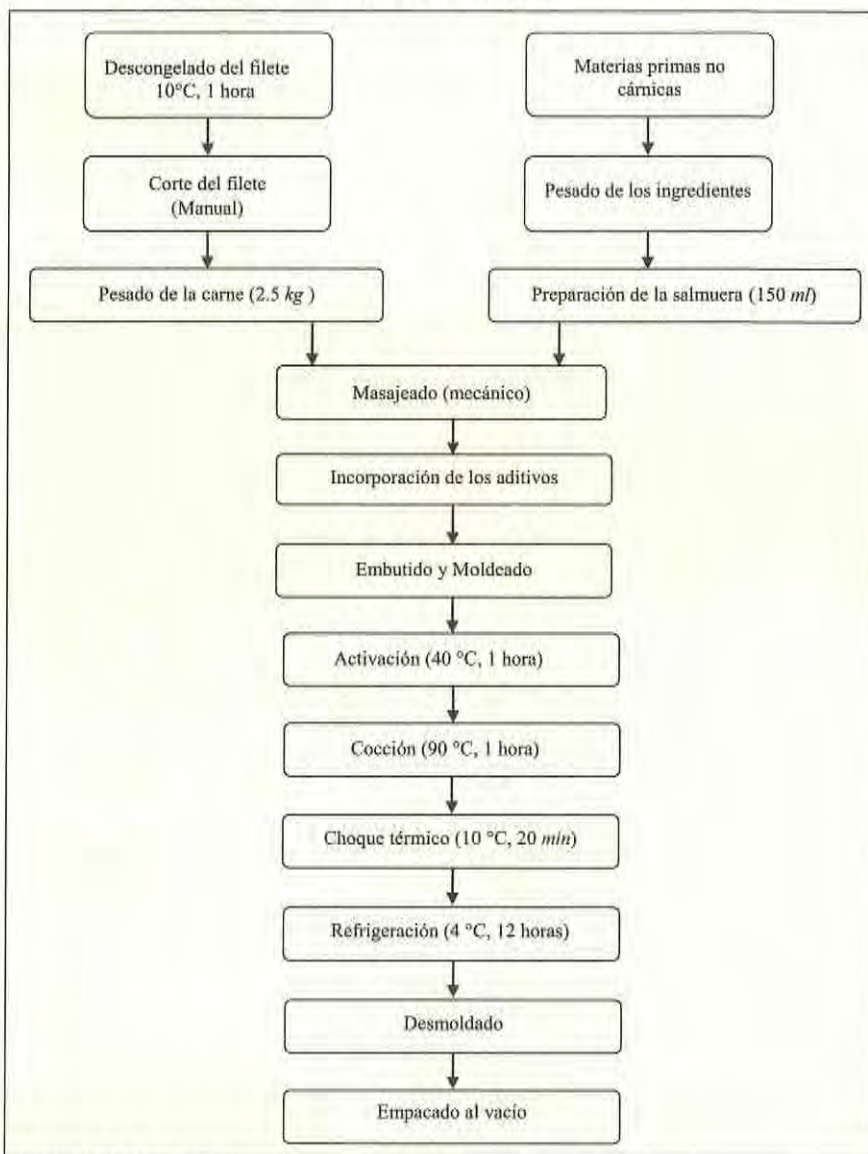
Ingredientes:

- 2.500 kg de filete de pescado.
- 25 g de condimentos para jamón.
- 40 g de sal.
- 10 g de fosfatos.
- 2 g de eritorbatos de sodio.
- 0.1.g de sales curantes.
- 3 g de azúcar.
- 7.5 g de MTGasa.
- 1.25 ml de colorante.
- 150 ml de agua fría.

Procedimiento

1. Pesar los ingredientes.
2. Preparar la salmuera incorporando y mezclando todos los ingredientes en el agua fría y agitar hasta obtener una solución homogénea.
3. Si el filete esta congelado, descongelar a corriente de agua sin tardar mas de 60 min, o pasarlo a refrigeración 12 horas antes de utilizarlo.
4. Cortar el filete en trozos pequeños (5x5 cm) y masajear junto con la salmuera por una hora para obtener una masa cárnica homogénea.
5. Embutir en una funda de algodón o de vinil evitando que se formen burbujas de aire en el centro de la masa.
6. Colocar en un molde para jamón con capacidad aproximada a 3 kg y llevar a baño María por una hora a 40 °C y otra hora más a 90 °C.
7. Prepara una tina con agua-hielo para inmediatamente introducir el jamón y provocar un choque térmico, dejando reposar 30 min.
8. Refrigerar por 12 horas antes de desmoldar.
9. Empacar al vacío para evitar la contaminación del producto final.

Figura 9
Diagrama de flujo para la elaboración del jamón de lisa
(Mugil cephalus)



Fuente: Calderón, 2008.

Bibliografía

- Calderón Hernández, G. (2008), *Optimización de las propiedades mecánicas de jamones de lisa (Mugil cephalus) y estudio de su estabilidad en almacenamiento en congelación*, tesis de Maestría en Ciencias y Tecnología de Alimentos, Universidad Autónoma de Tamaulipas, UAM, Reynosa Aztlán.
- Dimitrakopoulou, M.; J. Ambrosiadis; F. Zetou y J. Bloukas (2005), "Effect of Salt and Transglutaminase (γ) Level and Processing Conditions on Quality Characteristics of Phosphate-Free, Cooked, Restructured Pork Shoulder", *Meat Science*, núm. 70, pp. 743-749.
- Jiménez Colmenero, F.; M. Ayo y J. Carballo (2005), "Physicochemical Properties of Low Sodium Frankfurter with Added Walnut: Effect of Transglutaminase Combined with Caseinate, KCL and Dietary Fibre as Salt Replacers", *Meat Science*, núm. 69, pp. 781-788.
- Kilic B. (2003), "Effect of Microbial Transglutaminasa and Sodium Caseinate on Quality of Chicken Donner Kebab", *Meat science*, núm. 63, pp. 417-421.
- Mittal, G. S. y S. Barbut (1994), "Effects of Carrageenans and Xanthan Gum on the Texture and Acceptability of Low fat Frankfurters", *Journal of Food Processing and Preservation*, núm. 18 (3), pp. 2001-216.
- Morales, G.; J. A. Ramírez; D. Vivanco y M. Vázquez (2001), "Surimi of Fish Species from the Golf of Mexico: Evaluation of the Setting Phenomenon", *Food Chemistry*, núm. 75 (1), pp. 43-48.
- Motoki, M. y K. Seguro (1998), "Transglutaminase and its Use for Food Processing. Trend in food", *Science and Technology*, núm. 9 (5), pp. 204-210.
- Norma Oficial Mexicana. NOM-158-SCFI-2003, Jamón-Denominación y clasificación comercial, especificaciones fisicoquímicas, microbiológicas, organolépticas, información comercial y métodos de prueba.
- Pietrasik, Z. y E. C. Y. Li-Chan (2002), "Binding and Textural Properties of Beef as Affected by Proteins, K-Carrageenan and Microbial Transglutaminase Addition", *Food Research International*, núm. 35 (1), pp. 91-98.
- Pietrasik, Z. (2003), "Binding and Textural Properties of Beef Gels Processed with K-Carrageenan, egg Albumin and Microbial Transglutaminase", *Meat Science*, núm. 63 (3), pp. 317-324.
- Ramírez de León, J. A.; M. Vázquez; R. Uresti; G. Velazquez y S. Téllez (2006a), "Aprovechamiento integral de la lisa: alternativa de desarrollo económico para la Laguna Madre de Tamaulipas", *Ciencia UAT*, núm. 1 (1), pp. 57-60.

- Ramírez, J. A.; A. Del Ángel; R. Uresti; G. Velázquez y M. Vázquez (2007), "Low-Salt Restructured Products from Striped Mullet (*Mugil cephalus*) Using Microbial Transglutaminase or Whey Protein Concentrate as Additives", *Food Chemistry*, núm. 102 (1), pp. 243-245.
- Ramírez, J. A.; R. Rodríguez-Sosa; O. Morales y O. Vázquez (2000), "Surimi Gels from Striped Mullet (*Mugil cephalus*) Employing Microbial Transglutaminasa", *Food Chemistry*, núm. 70 (4), pp. 443-449.
- (2003), "Preparation of Surimi Gels From Striped Mullet (*Mugil cephalus*) Using an Optimal Level of Calcium Chloride", *Food Chemistry*, núm. 82(3), pp. 417-423.
- Sakamoto, H. *et al.* (1995), "Gel Strength Enhancement by Addition of Microbial Transglutaminase During Onshore Surimi Manufacture", *Journal Food Science.*, núm. 60 (2), pp. 300-304.
- Sakamoto, H.; Y. kamazawa y M. Motoki (1994), "Strength of Protein Gels Prepared with Microbial Transglutaminase as Related to Reactions Conditions", *Journal of Food Sciencie*, núm. 59 (4), pp. 866-871.
- Tellez Luis, S. J.; J. A. Ramírez y M. Vázquez (2004), "Aplication in Restructured Fish Products of Transglutaminase Obtained by *Streptoverticillum ladakanaum* in Media Made from Hydrolysates of Sorghum Straw", *Journal of Food Science*, núm. 69 (1), FSM1-FSM5.
- Téllez-Luis, S. J.; R. M. Uresti; J. A. Ramírez y M. Vázquez (2002), "Low-salt Restructured Fish Products Using Microbial Transglutaminase as Binding Agent", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, núm. 82 (9), pp. 953-959.
- Tseng, T. F.; D. C. Liu y M. T. Chen (2002), "Evaluation of Transglutaminase on the Quality of Low Salt Chicken Meat Balls", *Meat science*, núm. 55 (4), pp. 427-431.
- Uresti, R.M.; N. López-Arias.; J.J. González-Cabriales.; J.A. Ramírez y M. Vázquez. (2002), "Use of Amidated low Methoxyl Pectin Produce Fish Restructured Products", *Food Hydrocolloids*, 17, pp. 173-175.
- Uresti, R.; J. A. Ramírez; N. López-Arias y M. Vázquez (2003) "Negative Effect of Combining Microbial Transglutaminase with Low Methoxyl Pectins on the Mechanical Properties and Colour Attributes of Fish Gels", *Food Chemistry*, núm. 80 (4), pp. 551-556.
- Uresti, R.; J. Simón; José Ramírez; M. Vázquez (2004), "Use of Dairy Proteins and Microbial Transglutaminase to Obtain Low-Salt Fish Products from Filleting Waste from Silver Carp (*Hypophthalmichthys molitrix*), *Food Chemistry*, núm. 86 (2), pp. 257-286.

- Wolfran, R. M.; H. Kritz; Y. Efthimiou; J. Stomatopoulos y H. Sinzinger (2002), "Efecct of Prickly Pear (*Opuntia robusta*) on Glucose and Lipid Metabolism in Non Diabetics whit Hiperlipidemia. A pilot study", *Wiener Klinishe Wochenschrift*, núm. 114 (19-20), pp. 840-846.
- Wu, H.; K. M. Dwyer; Z. Fan; A. Shicore; J. Fan y J. H. Dwyer (2003), "Dietary Fiber and Progression of Atherosclerosis: The los Angeles Atherosclerosis Study", *The American Journal of Clinical Nutrition*, núm. 78 (6), pp. 1085-1091.

Ahumado del filete de croca (*Micropogonias undulatus*)

Nathalie Z. Figueroa Rodríguez
Gonzalo Velázquez de la Cruz
José Alberto Ramírez de León

Introducción

Como actividad económica la pesca en Tamaulipas constituye una importante fuente de alimentos, empleo y por ende, de bienestar económico. Esta actividad emplea el 1.3% de la población ocupada en dicho estado y genera casi el 7% del valor económico de la producción pesquera nacional.

La fauna de acompañamiento del camarón (FAC) es un recurso abundante que se usa inadecuadamente en varios países. Muchos peces son atrapados durante la temporada de pesca del crustáceo y se estima que 80% de estos recursos son fauna de acompañamiento. Muchos factores influyen en la pérdida de esta fuente natural: especies pequeñas no comerciales, no deseables, incluso la ausencia de productos alternativos. La croca del atlántico (*Micropogonias undulatus*) es una especie considerada como fauna de acompañamiento que no se aprovecha comercialmente debido a que no existe un proceso de transformación para obtener un producto de valor agregado.

El ahumado es un método de conservación que se ha usado para preservar los alimentos confiriéndoles una textura, aroma y sabor que resulte agradable al paladar.¹ El proceso de ahumado ya ha sido aplicado en otro tipo de alimentos como la carne de cerdo, hueva de pescado, carne de pavo, jamón de pollo, chorizos ahumados, etcétera.

¹ Adaptado de <http://www.tamaulipas.gob.mx/tamaulipas/seconomico/pesca>; consultado en febrero de 2007.

El objetivo de este trabajo fue desarrollar un proceso de ahumado para la conservación del filete de croca (*Micropogonias undulatus*).

Materiales y métodos

Materia prima

El filete de croca se obtuvo directamente de los pescadores de la Laguna Madre ubicada en los municipios de Matamoros, San Fernando y Soto la Marina, en Tamaulipas, México. El filete fue transportado en hieleras hasta el laboratorio de tecnología de alimentos de la Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa-Aztlán donde fueron congelados a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su procesamiento (de dos a seis días).

Los aditivos como fosfatos, sorbato de potasio, cura regal y eritorbatos se obtuvieron del Laboratorio Griffith de Monterrey (México). Los condimentos utilizados como la sal, azúcar, laurel y pimienta se obtuvieron de una tienda local.

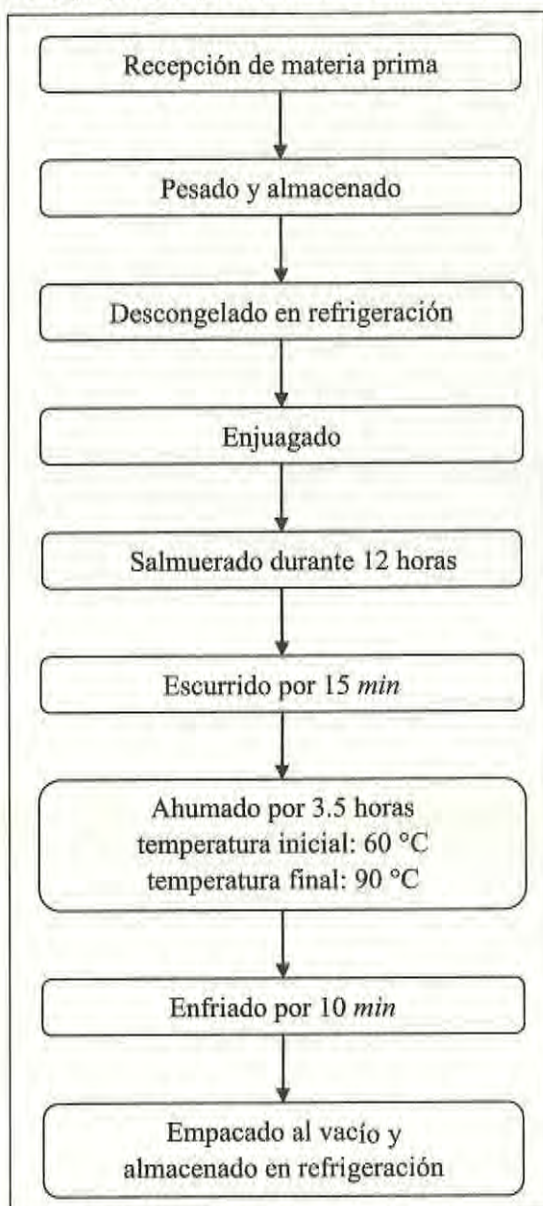
Método

En la figura 1 se muestra el diagrama de flujo del proceso de ahumado del filete de croca.

Salmuerado

Se lavó el filete de croca para eliminar residuos no deseables. Se pesaron 2 kg de filete limpio y se conservaron en refrigeración para evitar el crecimiento de microorganismos. En otro recipiente se pesaron cada una de los siguientes ingredientes: fosfatos (140 g), eritorbatos (4 g), sorbato de potasio (7.5 g), sal (20 g), cura regal (35 g) y azúcar (30 g). En otro recipiente se preparó la infusión conteniendo laurel (7.5 g), pimienta entera (7.5 g) y 600 ml de agua. La mezcla se colocó al fuego y se mantuvo en ebullición durante 25 min. En un recipiente con capacidad para integrar todos los ingredientes; se colocaron 2 l de agua purificada y otros 2 l de hielo; se adicionaron los ingredientes conservantes pesados anteriormente agitando constantemente para evitar la formación de grumos, la infusión fue filtrada para eliminar impurezas, se enfrió a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 5 min y posteriormente se agregó con los demás ingredientes; finalmente se colocó el pescado, se tapó el recipiente y se guardó a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, durante 12 horas.

Figura 1
Diagrama de flujo para el proceso de ahumado del filete de croca



Fuente: Figueroa, 2007.

Figura 2
Equipo completo para la producción de filete de croca ahumado



Fuente: Figueroa, 2007.

Proceso de ahumado

Después del proceso de salmuerado, los filetes se escurrieron por 10 *min* para eliminar el exceso de sal. Para el tratamiento se utilizó un ahumador (figura 2) con dimensiones de 104 x 107 x 160 *cm* (Alta tecnología y diseño S.A. de C.V.). Para monitorear la temperatura durante el proceso se utilizaron cuatro termopares, uno de ellos registró la temperatura ambiente del ahumador y los otros tres registraron la temperatura interna del filete de croca en tres puntos diferentes dentro del ahumador. La temperatura se registró automáticamente cada 5 *min* con un sistema de adquisición de datos (Sper Scientific modelo 800024). Para el sistema de calentamiento se utilizó un quemador de gas LP y para la generación de humo se utilizó madera de mezquite (figura 3). El ahumador se precalentó a 60 °C antes de colocar el filete de croca, colgados y unos apoyados en las rejillas (figura 4). Se colocaron las virutas de mezquite y se encendieron para la generación de humo. Se diseñó una rampa de temperatura contra tiempo para controlar la temperatura del proceso auxiliado con el termopar que registró la temperatura en el interior del ahumador.

El filete de croca permaneció en el ahumador (figura 2) por 4 horas de tal forma que se alcanzó una temperatura interna del filete mayor a 65 °C para evitar el riesgo de sobrevivencia de microorganismos. La temperatura interna del ahumador alcanzó una temperatura de 90 a 95 °C. Al término de proceso de ahumado, el filete de fue empacado al vacío en un tiempo no mayor de 10 minutos.

Figura 3
Virutas de mezquite utilizadas para el
ahumado de filete de croca



Fuente: Figueroa, 2007.

Análisis bromatológico

Humedad

La determinación de humedad se realizó en una estufa con una temperatura de 100 a 110 °C hasta obtener un peso constante. El porcentaje de materia seca se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Sólidos secos (\%)} = \frac{M3 - M1}{M2 - M1}$$

Figura 4
Colocación de los filetes de croca para el proceso de ahumado



Fuente: Figueroa, 2007.

Donde:

M1 = Peso del crisol tarado.

M2 = Peso del crisol con la muestra antes de secar.

M3 = Peso constante del crisol con la muestra después del secado.

La diferencia entre el contenido en sustancia seca y el 100% se denomina, contenido de agua.

Cenizas

Se lavaron los crisoles con agua destilada y se llevaron a peso constante a una temperatura de 110 °C. Se pesó la muestra en el crisol previamente tarado y se quemó con un mechero. Posteriormente se colocó en una mufla a temperatura de 530 °C por 30 *min*. Cuando la ceniza cambió a un color blanco se sacó el crisol de la mufla y se enfrió en desecador por 30 *min*. Para calcular el porcentaje de cenizas se tomó en cuenta la siguiente fórmula:

$$\text{Cenizas (\%)} = \frac{M2 - M1}{P} \times 100$$

Donde:

M1 = masa en gramos del crisol vacío.

M2 = masa en gramos del crisol con la muestra tras la incineración.

P = peso de la muestra en gramos.

Grasas

Se empleó el equipo Soxtec para la extracción de la grasa de la muestra deshidratada y homogenizada; se utilizó la solución de 50% de acetona y 50% de hexano. El porcentaje de grasa se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Grasa (\%)} = \frac{B - A}{C} \times 100$$

A = peso inicial del vaso metálico.

B = peso final del vaso metálico con la muestra.

C = peso de la muestra.

Proteínas

Se utilizó el método de Kjeldahl para la determinación de proteínas con 0.5 g de muestra la cual fue digerida y destilada. El destilado fue recibido en HCl 0.1 N y titulado con NaOH al 0.1 N. El nitrógeno total se calculó utilizando la siguiente fórmula y el contenido de proteína se obtuvo utilizando un factor de 6.25.

$$\text{Nitrógeno total (\%)} = \frac{(A : N1) (B : N2) (0.014)}{C} \times 100$$

A = ml de HCl que se mezclaron con la destilación de matraz Kjeldahl.

N1 = normalidad del HCl.

B = ml de NaOH utilizados en el matraz de Kjeldahl.

C = Muestra utilizada (g).

Carbohidratos

El contenido de carbohidratos fue determinado por diferencia porcentual.

Color

Se utilizó el colorímetro HunterLab (modelo Miniscan, Reston Virginia, Estados Unidos) para obtener los parámetros L , a^* , b^* y calcular los valores de C y H asociados con las características de color del alimento. El color fue tomado en un punto de la zona central libre de piel, de la muestra ahumada y fresca.

Análisis microbiológico

En el análisis microbiológico del filete de croca ahumada se determinaron los mesófilos aerobios totales por el método de recuento en placa, recuento de coliformes totales y fecales por la técnica de número más probable, recuento de organismos coliformes en placa, recuento de *Staphylococcus aureus* y determinación de *Salmonella spp* siguiendo las técnicas descritas en la Norma Oficial Mexicana.

Evaluación sensorial (prueba hedónica)

Se llevó a cabo una evaluación hedónica con la escala de siete puntos en el filete de croca ahumado con 50 consumidores utilizando una escala de intervalo de acuerdo a la siguiente clasificación:

1. Me disgusta mucho.
2. Me disgusta.
3. Me disgusta poco.
4. Ni me gusta, ni me disgusta.
5. Me gusta poco.
6. Me gusta.
7. Me gusta mucho.

Los parámetros determinados fueron:

- Apariencia general.
- Color.
- Olor.
- Sabor.

Textura

Prueba de punción

La prueba de punción se efectuó en un texturómetro TA-XT2i (Stable Micro Systems, Viena Court, Inglaterra) con una sonda esférica de acero inoxidable de media pulgada de diámetro (P/0.5S), comprimiendo hasta 50% de la altura inicial de la muestra, usando una velocidad de compresión de 1 *mm/seg*. Con esta prueba se obtuvieron los datos de fuerza de ruptura (*g*), deformación (*cm*) y fuerza de gel (*g*cm*). Se analizaron seis muestras del tratamiento, con una dimensión de 1 x 1 x 0.4 *cm* los cuales tenían una temperatura de 12 °C y se reportaron los valores promedio.

Análisis Warner-Bratzler

Se midió la fuerza de corte utilizando la navaja Warner-Bratzler en un texturometro TA-XT2i (Stable Micro Systems, Viena Court, Inglaterra). Se usó una velocidad de corte de 60 *mm/min*. Se utilizaron seis muestras por tratamiento con dimensiones de 4 x 1 x 0.4 *cm*, con una temperatura de 12 °C.

Diseño de la planta

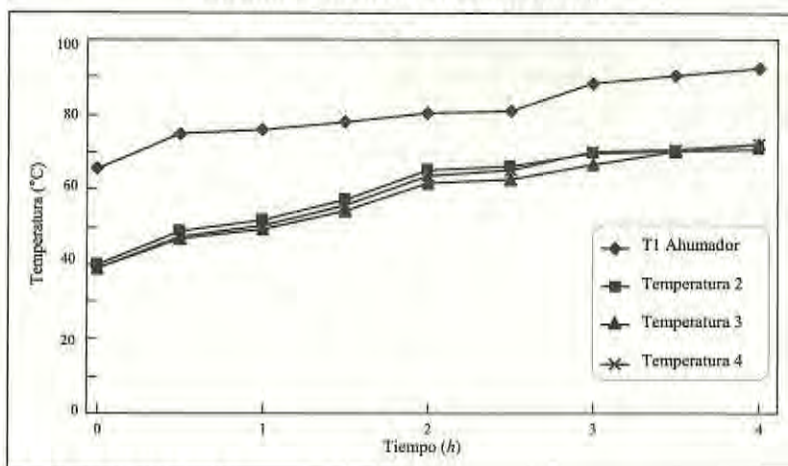
Los resultados obtenidos del producto ahumado fueron tomados en cuenta para la realización del diseño de plantas para la producción de filete de croca ahumada utilizando el software SuperPro Designer 7.0 (Intelligen, Inc. Scotch Plains, NJ, Estados Unidos) para la simulación de un proceso de la producción de filete de croca ahumada. Todos los datos ingresados al software se realizaron en el laboratorio, y se efectuaron balances de materia y energía en las distintas etapas del proceso. En el programa se ajustaron los costos y cantidades para obtener un proceso rentable. Los costos de equipos se obtuvieron por cotizaciones a una empresa proveedora de materiales y equipos. Se consideraron los costos de la materia prima, insumos, mano de obra (salario mínimo), egresos e ingresos que se presentan durante la operación de una planta de producción de filete de croca ahumada.

Resultados

Rampas de temperatura

Se desarrolló una rampa de temperatura durante cuatro horas para controlar la temperatura del ahumador y de la temperatura interna del filete de croca. En la figura 5 se observa que la parte interna del filete de croca alcanzó una temperatura mayor a 65 °C, suficiente para eliminar los microorganismos que pudieran estar presentes en el filete. Estas condiciones de proceso cumplen con la NOM-129-SSA1-1995, para la inhibición de microorganismos en pescado ahumado.

Figura 5
Rampa de temperatura obtenida en el proceso de ahumado en el filete de croca



Fuente: Figueroa, 2007.

Análisis proximal de la croca (*Micropogonias undulatus*)

En la tabla 1 se muestra el análisis proximal en base húmeda y base seca para la croca fresca y ahumada. Los porcentajes encontrados en base húmeda demuestran que el proceso de ahumado tiene un efecto de concentración ya que la humedad disminuyó desde 77.81 hasta 42.6% en croca fresca y ahumada respectivamente. Debido

a ello, la concentración de los demás componentes aumentó en todos los casos especialmente las cenizas y las proteínas. Sin embargo cuando se analizaron los valores obtenidos en base seca se confirmó el aumento en el contenido de cenizas ya que la sal se absorbió durante la etapa de salmuerado. Contrario a lo que se observó en base húmeda, la grasa disminuyó lo cual se atribuyó al escurrimiento durante el ahumado en caliente. En el caso de las proteínas el contenido en base seca disminuyó ligeramente lo cual se puede explicar por el efecto de la pérdida de proteínas hidrosolubles durante el salmuerado. Finalmente los carbohidratos disminuyeron ligeramente, esto puede haber ocurrido durante el escurrimiento de agua en la etapa de ahumado ya que los azúcares se encuentran en solución.

Tabla 1
Resultados de análisis proximales en filete de croca fresca y filete de croca ahumada

Composición	Croca fresca		Croca ahumada	
	Base húmeda	Base seca	Base húmeda	Base seca
Humedad	77.81 ± 0.71	-	42.6 ± 4.45	-
Ceniza	0.59 ± 0.48	2.66 ± 0.38	7.7 ± 0.41	13.51 ± 0.55
Grasa	4.3 ± 0.49	19.42 ± 2.59	6.4 ± 0.35	11.15 ± 0.61
Proteínas	17 ± 2.33	76.92 ± 2.74	42.6 ± 2.12	74.54 ± 0.13
Carbohidratos	0.22	1	0.46	0.8

Fuente: Figueroa, 2007.

La disminución de humedad ayuda a prolongar la vida de anaquel del producto ahumado y considerando que el filete de croca ahumada resultó con un ligero sabor dulce, el producto final se puede utilizar como botana. En comparación con un estudio reportado en la literatura donde se utilizó la especie de chaparreta (*Sparus aurata*) ahumada, se observó que después del ahumado disminuyó significativamente el contenido de humedad y aumentó el contenido de proteína y grasa en la carne de este pescado (Vasiliadou y otros 2005).

En otro estudio de atún ahumado la humedad también disminuyó después del proceso de ahumado desde 69.70 hasta 64.30%, mientras que las cenizas aumentaron después del ahumado desde 1.95 hasta 5.31% (Figuera y otros, 2005).

Vishwanath y otros (1998) reportaron que en la anguila (*Monopterus albus*) ahumada también disminuyó el contenido de humedad desde 77 ± 0.08% hasta un 45.70 por ciento. Por otro lado, Yanar (2006) demostró que en la especie tilapia

(*Oreochromis niloticus*) la humedad de la muestra después del ahumado disminuyó desde 76.87 hasta 67.96%, mientras que los demás componentes analizados aumentaron su concentración de muestra fresca a muestra ahumada; lípidos desde 2.64 hasta 3.14%, cenizas desde 1.09 hasta 2.29% y proteínas de 18.23 a 23.93 por ciento.

Medida de los atributos de color

El proceso del ahumado modificó el color del filete de croca, lo cual se aprecia en los valores mostrados en la tabla 2. La luminosidad cambió de un color claro ($L = 67.28 \pm 3.52$) en el filete de croca hasta una tonalidad más oscura en el producto procesado ($L = 50.14 \pm 2.68$). Croma disminuyó con el tratamiento de ahumado del filete desde 10.65 ± 1.37 a 6.43 ± 2.82 y aunque los valores no demuestran mucha variación entre ellos, el color es notablemente diferente a la materia prima. El valor de Hue no disminuyó notablemente el cual era desde 79.43% en el filete de croca fresco hasta 65% en el producto final, esto indica que ambos valores se encuentran en el mismo cuadrante de los rojos a los amarillos. En los parámetros a^* y b^* se obtuvieron valores que aumentaron después del procesado del filete de croca (de 0.42 a 8.21% y de 10.54 a 20.11% respectivamente) resultando un color entre café-rojizo en el producto final.

Tabla 2
Resultados obtenidos en los parámetros de color

Parámetro	Croca fresca	Croca ahumada
<i>L</i>	67.28 ± 3.52	50.14 ± 2.68
a^*	0.42 ± 1.59	8.21 ± 1.61
b^*	10.54 ± 1.39	20.11 ± 2.58
Croma	10.65 ± 1.37	6.43 ± 2.82
Hue	79.43 ± 90.8	65 ± 10.46

Fuente: Figueroa, 2007.

Análisis microbiológicos

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-129-SSA1-1995 (Bienes y servicios. Productos de la pesca: secos-salados, ahumados, moluscos cefalópodos y gasterópodos

frescos-refrigerados y congelados), los límites permisibles para mesófilos aerobios es de 500 000 UFC y de acuerdo a los análisis realizados se encontró en la croca fresca una población de 30 000 UFC y en la croca ahumada no se detectó la presencia de mesófilos (tabla 3). En un reporte en la literatura sobre la calidad microbiológica de anguila fresca y ahumada se reportó una población de 1 200 000 UFC y 2 360 000 000 UFC, respectivamente. Con estos niveles de contaminación no se considera un producto apto para el consumo humano (Vishwanath y otros, 1998). Con respecto a coliformes, la Norma Oficial Mexicana especifica que el límite permisible es <230 NMP/100g y los análisis que se realizaron a la croca tanto fresca como ahumada no se detectaron coliformes, en comparación con lo que se reportó en la literatura (Vishwanath y otros, 1998) de anguila cruda y anguila ahumada en los cuales si se encontró presencia de coliformes de 36 y 23 NMP/100g respectivamente.

No se detectó la presencia de *Staphylococcus aureus* en la croca fresca y ahumada. Se han encontrado reportes de este patógeno de 780 y 5 300 en anguila cruda y anguila ahumada respectivamente (Vishwanath y otros, 1998), un producto similar al filete de croca ahumada. La presencia de *Staphylococcus aureus* en este tipo de alimentos se debe a su capacidad para crecer en bajos valores de actividad de agua.

En cuanto a *Salmonella*, la Norma Oficial Mexicana indica que no debe estar presente en muestras de productos ahumados. En el análisis de croca fresca y ahumada se reportó como ausente al igual que lo reportado por Vishwanath y otros (1998) en la anguila cruda y ahumada. Por lo tanto de acuerdo a los datos mostrados en la tabla 3 se considera que el filete de croca ahumado fue procesado bajo condiciones de higiene adecuadas para asegurar un producto con larga vida de anaquel y sin riesgos para consumo humano.

Tabla 3
Resultados obtenidos de análisis microbiológicos
en croca ahumada

Muestra	Mesófilos	Coliformes	Staphylococcus aureus	Salmonella
Croca cruda	3x10 ⁴ UFC	negativo	negativo	ausente
Croca ahumada	negativo	negativo	negativo	ausente
Vida de anaquel 30 días	negativo	negativo	negativo	ausente
Vida de anaquel 60 días	negativo	negativo	negativo	ausente

Fuente: Figueroa, 2007.

Textura en el filete de croca ahumada

Se realizaron pruebas de textura al producto ahumado con diferentes sondas para valorar su dureza, fuerza de ruptura y fuerza de corte. En la prueba de punción que se utilizó para determinar la fuerza de ruptura después del ahumado del filete de croca, se obtuvo un valor de $1\ 007.18 \pm 365.0$ g. En la fuerza de corte la prueba obtenida con la celda de Warner Bratzler se registró un valor promedio de $1\ 447.24 \pm 390.5$ g en el filete ahumado. Por último se realizó la prueba que simula el efecto de corte de los dientes caninos encontrándose un valor promedio de $1\ 111.36 \pm 265.3$ g. De acuerdo a la percepción de la textura y considerando los valores obtenidos en las propiedades evaluadas, el filete de croca ahumado se puede describir como un producto con una textura suave (debido a su fibrosidad), pero no quebradiza.

Pruebas de consumidor de croca ahumada

Se realizaron pruebas de consumidor a la croca ahumada dos días después de su preparación con un grupo de 50 personas con edades desde los 18 hasta los 60 años. Los resultados presentados en la tabla 4 muestran que el producto fue aceptado por los consumidores quienes calificaron el aspecto general como “me gusta” en 52% antes de probarlo; sin embargo al tomar una muestra y calificar los demás aspectos, el parámetro de sabor aumentó de 28 a 56% de “me gusta” a “me gusta mucho” respectivamente. Lo mismo ocurrió con el parámetro de color: los consumidores lo calificaron 34% como “me gusta” y 56% como “me gusta mucho”. Sólo se obtuvo 2% de los panelistas que calificaron al producto con “me disgusta”, que formaban un grupo de personas que no consumían pescado.

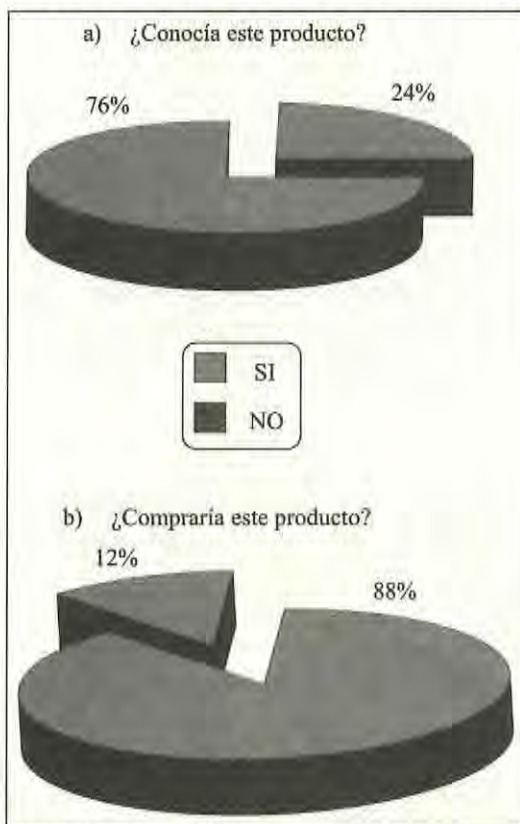
Tabla 4
Pruebas del consumidor del filete de croca ahumada

<i>Parámetro</i>	<i>Apariencia general (%)</i>	<i>Color (%)</i>	<i>Olor (%)</i>	<i>Sabor (%)</i>	<i>Textura (%)</i>
Me gusta mucho	40	56	38	56	32
Me gusta	52	34	38	28	60
Me gusta poco	6	6	18	12	4
Ni me gusta ni me disgusta	0	4	2	2	0
Me disgusta poco	0	0	2	0	2
Me disgusta	2	0	2	2	2
Me disgusta mucho	0	0	0	0	0

Fuente: Figueroa, 2007.

Para apreciar la aceptación del consumidor hacia el producto final obtenido se decidió preguntar qué tanto lo conocían. En la figura 6a 76% de la población encuestada mencionó que “no” mientras 24% contestó “sí”. También se optó por preguntar si compraría este producto; en la figura 6b se muestra que 88% de los panelistas respondió “sí” y sólo un 12% mencionó que “no”. Los resultados observados en la prueba de consumidor sugieren que la croca ahumada es un producto con buena aceptación por parte del público consumidor. Por lo tanto es una buena opción para obtener valor agregado en esta especie de bajo valor comercial, beneficiando así al sector pesquero.

Figuras 6a y 6b
Pruebas de consumidor del filete de croca ahumada



Fuente: Figueroa, 2007.

Diseño de planta para ahumado de filete de croca (*Micropogonias undulatus*)

Proceso para la producción de filete de croca ahumada

El proceso diseñado para la producción de filete de croca ahumado en términos generales implica las siguientes etapas:

- Recepción de la materia prima.
- Descongelación.
- Eviscerado.
- Salmuerado.
- Ahumado.
- Empaquetado.

La materia prima necesaria para la operación de la planta es transportada en condiciones óptimas de conservación por parte de los proveedores. La croca entera la abastece el proveedor Pefralego del municipio de San Fernando, mientras que los ingredientes y materiales utilizados en el proceso son abastecidos por la Corporación Fabpsa (Industrias Alimenticias Fabp, S.A. de C.V.) de la ciudad de México.

Para iniciar un lote de producción lo cual se lleva a cabo cada 18.5 horas, que a la semana es un total de seis lotes, es necesario contar con las cantidades establecidas en la tabla 5, calculado por el SuperPro para la producción de un lote de filete de croca ahumada.

Tabla 5
Cantidad por lote para la producción de filete de croca ahumada en el simulador SuperPro

<i>Materia prima</i>	<i>Kg/lote</i>
Pescado entero	500
Agua limpia	500
Salmuera	1000
Hipoclorito de sodio	23.8
Polietileno	1.5

Fuente: Figueroa, 2007.

Para obtener producto final por unidad se necesitan las siguientes cantidades, definiendo una unidad como un paquete con 500 g de croca ahumada (tabla 6). Esta información fue utilizada para simular el proceso de producción de filete de croca ahumada usando el programa de SuperPro.

Tabla 6
Cantidad de producto por unidad en la planta
productora de filete de croca ahumada
simulado por SuperPro

<i>Material</i>	<i>Kg/unidad</i>
Pescado	1.667
Salmuera	3.333
Agua	21.101
Polietileno	0.005
Hipoclorito de sodio	0.080
Total	26.86

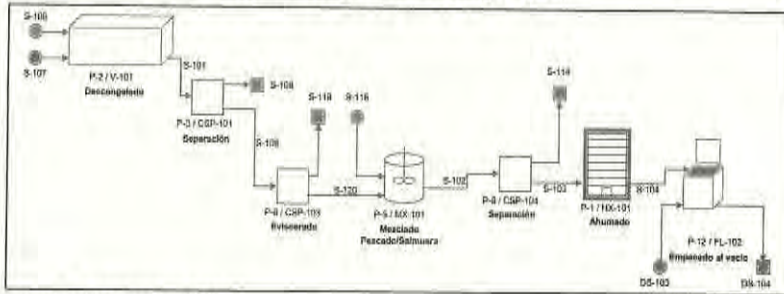
Fuente: Figueroa, 2007.

Diseño de la planta

La planta de ahumado de croca se diseñó con dos turnos de ocho horas de lunes a sábado cubriendo las horas mínimas de una jornada laboral de acuerdo a los estatutos de la Secretaría de Trabajo. Anualmente se laboran un total de 4 608 horas, dentro de las cuales se han tomado en cuenta los días oficiales de suspensión de labores. El proceso de ahumado de la croca se llevará a cabo por lotes para obtener el producto final en 18.5 horas, iniciando con el descongelado de la materia prima y terminando en el empaclado del producto (figura 7), alcanzando una producción de 360 unidades por lote con una cantidad de 500 g en cada unidad. Anualmente la planta realizará 370 lotes, obteniendo 133 200 paquetes unitarios de producto final.

Para el funcionamiento adecuado de la planta se contará con dos operarios en el primer turno y dos en el segundo, quienes recibirán un salario equivalente a un dólar por hora, lo que suma un total de 48 dólares la semana y las horas extras se le pagará dos dólares la hora. Dos operarios por turno son suficientes considerando que la mayoría de las operaciones en el proceso y en la maquinaria están automatizadas, por lo tanto un solo trabajador puede atender dos o más equipos de la planta.

Figura 7
Esquema del diseño de una planta productora de filete de croca en SuperPro



Fuente: Figueroa, 2007.

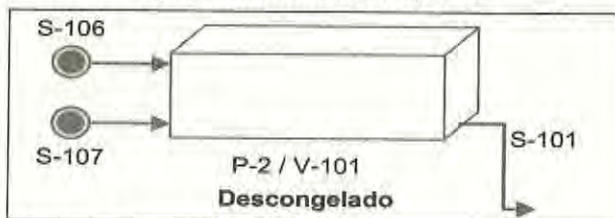
Operaciones unitarias realizadas en la planta diseñada

Descongelado

En esta etapa (figura 8) se recibe el pescado entero congelado. El proceso de descongelación se lleva a cabo en un tiempo de 45 *min*. Las corrientes que se utilizan son las siguientes:

- Corriente S-106. Entrada de pescado entero.
- Corriente S-107. Entrada de agua limpia.
- Corriente S-101. Salida de pescado descongelado con agua sucia.

Figura 8
Esquema de tanque de descongelación y almacenamiento en la planta productora de filete de croca ahumada en el simulador del SuperPro



Fuente: Figueroa, 2007.

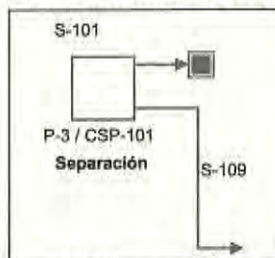
Separación

En esta etapa (figura 9) se separa el pescado y el agua en un proceso de escurrido que se lleva a cabo en un tiempo de 15 *min*. Las corrientes que se utilizan son las siguientes:

Corriente S-108. Salida de agua sucia.

Corriente S-109. Salida de pescado descongelado.

Figura 9
Esquema del tanque de separación
en la planta productora de filete de croca ahumada
en el simulador SuperPro



Fuente: Figueroa, 2007.

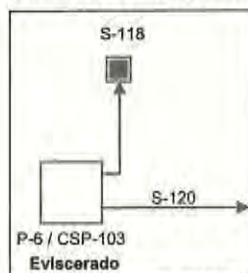
Eviscerado y descabezado

En esta etapa (figura 10) se realiza el eviscerado y descabezado del pescado entero en un tiempo de 30 *min*. Las corrientes que se utilizan son las siguientes:

Corriente S-118. Salida de desechos del pescado.

Corriente S-120. Salida de filete de pescado.

Figura 10
Esquema del equipo de eviscerado en la planta productora
de filete de croca en el simulador SuperPro



Fuente: Figueroa, 2007.

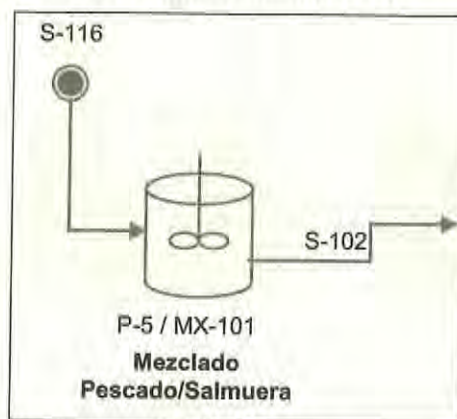
Mezclado

En esta etapa del proceso (figura 11) se mezcla la salmuera con el filete de pescado y se deja en reposo durante 12 horas a baja temperatura (-5 °C). Las corrientes que se utilizan son las siguientes:

Corriente S-116. Entrada de la salmuera.

Corriente S-102. Salida de filete de pescado con salmuera sucia.

Figura 11
Esquema del equipo mezclador
en la planta productora de filete de croca ahumada
en el simulador SuperPro



Fuente: Figueroa, 2007.

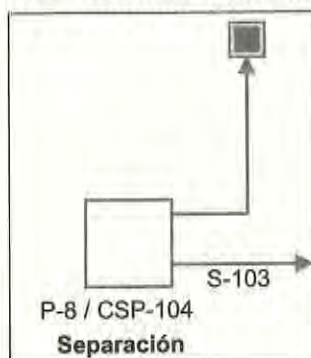
Separación

En esta etapa del proceso se lleva a cabo la separación del filete de pescado y de la salmuera. Esta operación es realizada en 20 *min* (figura 12). Las corrientes que se utilizan son las siguientes:

Corriente S-114. Salida de salmuera sucia.

Corriente S-103. Salida de pescado salmuerado.

Figura 12
Esquema del equipo de separación
en la planta productora de filete de croca ahumada
en el simulador SuperPro



Fuente: Figueroa, 2007.

Ahumado

En esta etapa del proceso (figura 13) se realiza el ahumado del filete de croca. Esta operación se efectúa durante 4 horas a 90 °C asegurándose de que el punto frío del filete alcance una temperatura mínima de 65 °C por un tiempo no menor de 30 *min*.

La corriente que se utiliza es la siguiente:

Corriente S-104. Salida de filete de croca ahumado.

Figura 13
Esquema del equipo de ahumado
en la planta productora de filete de croca ahumada
en el simulador SuperPro



Fuente: Figueroa, 2007.

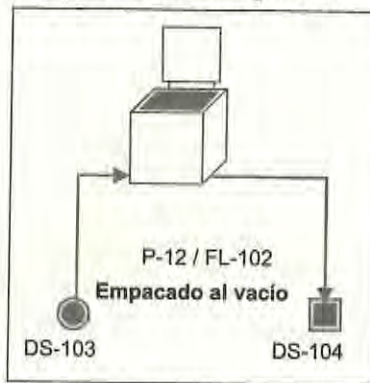
Empacado al vacío

La última etapa del proceso (figura 14) de ahumado es el empacado al vacío del filete de pescado en unidades de 500 g. Esta operación se realiza en un tiempo de 20 min. Las corrientes que se utilizan son las siguientes:

Corriente DS-103. Entrada de empaque vacío.

Corriente DS-104. Salida de producto final.

Figura 14
Esquema del equipo de frente empacado al vacío
en la planta productora de filete de croca ahumada
en el simulador SuperPro



Fuente: Figueroa, 2007.

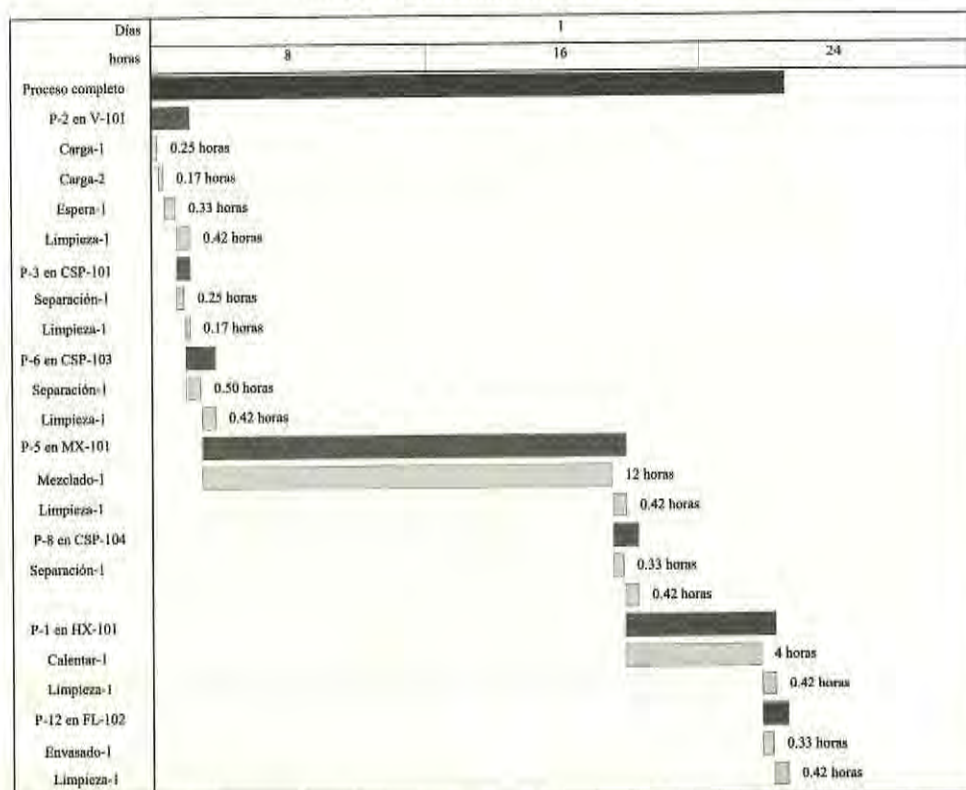
Etapas del proceso

En la figura 15 se muestra una representación de cada uno de los procesos y el tiempo de cada uno de ellos.

Capacidad de los equipos utilizados

- V-101 Tanque de recibimiento (descongelado). Volumen ocupado 22 340 56 L, y una altura de 6 350 m y un diámetro de 2.117.
- CSP-101 Separación de componentes (separación). Capacidad estimada de flujo 80 000 kg/hora.
- CSP-103 Separación de componentes (eviscerado). Capacidad estimada de flujo 20 000 kg/hora.

Figura 15
Representación esquemática de los procesos y el tiempo
en que dura cada uno de ellos



Fuente: Figueroa, 2007.

MX-101 Mezclado (mezclado de pescado y salmuera). Capacidad estimada de flujo 1 916 kg/hora.

CSP-104 Separación de componentes (separación). Capacidad estimada de flujo 69 000 kg/hora.

HX-101 Calentador (ahumado). Área de transferencia de calor 0.146 m².

FL-102 Llenado (empacado al vacío). Velocidad de flujo 3 600 entidad/hora.

Datos económicos

Tabla 5
Resultados obtenidos utilizando el simulador del SuperPro
en el análisis económico para la planta procesadora
de filete de croca ahumada

<i>Concepto</i>	<i>Descripción (dólares)</i>
Inversión inicial	\$361 075
Utilidades	\$532 800/año
Costo de operación	\$289 572/año
Producción de unidades	133 200 unidades/año
Costo de producción/unidad	\$2.17/unidad
Costo de venta por unidad	\$4.00
Tiempo de recuperación	2.06
Margen de beneficio	45.65%

Fuente: Figueroa, 2007.

Tabla 6
Resultados obtenidos utilizando el simulador SuperPro
en el análisis de inversión inicial para la planta procesadora
de filete de croca ahumada

<i>Capital de inversión</i>	<i>(Dólares)</i>
Costo de equipo	49 875
Capital fijo	309 704
Capital de trabajo	35 885
Costo de arranque	15 485
Total de capital de inversión	361 075

Fuente: Figueroa, 2007.

Tabla 7
Resultados obtenidos utilizando el simulador SuperPro
en el análisis de costo de operación para la planta procesadora
de filete de croca ahumada

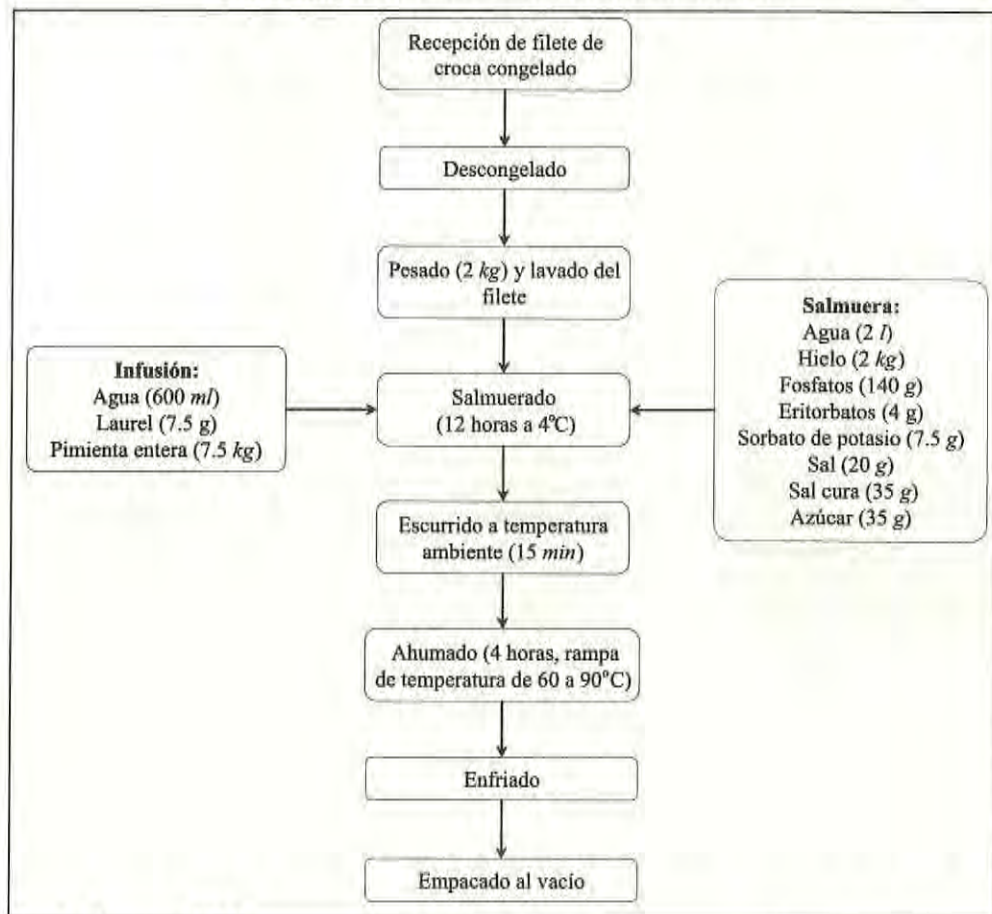
<i>Costo de operación</i>	<i>Dólares/año</i>
Materia prima	\$184 827
Mantenimiento de instalaciones	\$58 188
Sueldos anuales	\$13 994
Control de calidad	\$2 099
Insumos	\$3 298
Tratamiento de aguas	\$27 166
Total de costo de operación anual	\$289 572

Fuente: Figueroa, 2007.

La tabla 5 muestra que la inversión inicial para establecer la planta de ahumado de filete de croca se estima en 361 075 dólares, cantidad que se recuperaría en un tiempo aproximado de dos años de acuerdo a los cálculos realizados considerando un volumen de materia prima de pescado entero congelado y de salmuera preparada de 600 y 1 200 kg por lote, respectivamente. También muestra que el costo de producción de un paquete de 500 g de filete de croca ahumada es de 2.17 dólares y el precio de venta que se ha colocado en cuatro dólares. Con una producción de 133 200 unidades por año se obtendría una utilidad de 532 800 dólares anuales. Dentro de la inversión inicial se toma en cuenta el costo de equipo (tabla 6) que se estima en 49 875 dólares, el capital de trabajo y costo de arranque (15 485 dólares). El costo de operación indicado en la tabla 7 de 289 572 dólares anuales se desglosa en la tabla 8 la cual muestra los costos de los siguientes rubros: materia prima estimada en 184 827 dólares, sueldo de operadores en 13 994 dólares; mantenimiento de instalaciones en 58 188 dólares; entre otros. La inversión inicial incluye el terreno y el edificio, sin embargo si los accionistas cuentan con estos recursos el capital de inversión disminuye considerablemente.

Anexo

Diagrama de la elaboración de croca ahumada



Fuente: Figueroa, 2007.

Conclusiones

El proceso de ahumado en la croca afectó el color y dureza del filete obteniéndose los colores café-rojizos característicos de los productos ahumados.

Las pruebas de consumidor demostraron que el producto tuvo un alto grado de aceptación entre el público consumidor.

El filete de croca ahumada tiene un alto valor nutricional y la carga microbiana no sobrepasa las normas oficiales, el cual es otro requisito para que el producto pueda ser consumido sin ningún tipo de riesgo.

El proceso de ahumado es una alternativa de comercialización factible para esta especie de bajo valor comercial.

La producción comercial de croca ahumada requiere un capital de inversión estimado en 361 075 dólares, con un costo de operación de 289 572 dólares anuales, y una utilidad anual de 532 800 dólares, lo que permitiría recuperar la inversión inicial en dos años.

Fuentes consultadas

- Figuera, B.; A. Cabello; L. Villalobos; Y. Del Valle Y O. Ballenilla (2005), "Crecimiento de *Listeria monocytogenes* en atún ahumado empacado al vacío", *Zoootenia Tropical*, vol. 23, núm. m2, pp. 171-178.
- Figueroa Rodríguez, N. Z. (2007), *Desarrollo en un proceso de ahumado de filete de Croca (Micropogonias undulatus)*, tesis de Licenciatura en Nutrición y Ciencias de los Alimentos, Universidad Autónoma de Tamaulipas, México.
- Norma Oficial Mexicana. NOM-129-SSA1-1995. Bienes y servicios. Productos de la pesca: secos-salados, ahumados, moluscos cefalópodos y gasterópodos frescos-refrigerados y congelados. Disposiciones y especificaciones sanitarias.
- Vasiliadou S.; I. Ambrosiadis; K. Vareltzis; D. Fletouris y I. Gavriilidou (2005), "Effect of Smoking on Quality Parameters of Farmed Gilthead sea Bream (*Sparus aurata* L.) and Sensory Attributes of the Smoked Product", *Eur Food Technol*, núm. 22, vol. 17, pp. 232-236.
- Vishwanath, W.; H. Lilabati y M. Bijen (1998), "Biochemical, Nutritional and Microbiological Quality of Fresh and Smoked Mude eel Fish *Monopterus albus* a comparative study", *Food Chemistry*, núm. 61, vols. 1-2, pp. 153-156
- Yanar, Y.; M. Çelik y E. Akamca (2006), Effects of Brine Concentration on Shelf-Life of Hot-Smoked Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Stored at 4 °C., *Food Chemistry*, núm. 97, vol. 2, pp. 244-247.

Elaboración

1. Descongelar 2 *k* de filete de croca a corriente de agua.
2. Se pesan los ingredientes de la salmuera y los de la infusión.
3. Los ingredientes de la infusión se colocan en una olla junto con el agua y se calientan hasta punto de ebullición.
4. En un recipiente con capacidad para colocar todos los ingredientes se colocan 2 *l* de agua, 2 *k* de hielo y los ingredientes anteriormente pesados para la salmuera agitando constantemente para evitar la formación de grumos.
5. Se filtra la infusión para evitar impurezas, se enfría a 4 °C por cinco *min*.
6. Se agrega el resto de los ingredientes.
7. Se coloca el filete de croca y se tapa.
8. Se deja reposar a 4 °C por 12 horas.
9. Se escurre los filetes de por 10 *min* para evitar el exceso de salmuera.
10. Se precalienta el ahumador a 60 °C.
11. Se colocan las virutas de mezquite y el generador de humo se enciende.
12. Se introducen los filetes de croca de forma suspendida al ahumador y se monitorea la temperatura.
13. Se aumenta la temperatura gradualmente durante cuatro horas hasta llegar a 90-95 °C en el interior del filete y del ahumador.
14. Después del ahumado se dejan enfriar por 10 *min* y se empacan al vacío antes de llevarse al almacenamiento en refrigeración.

Elaboración de hueva de lisa ahumada y seco-salada

*Deborah P. Delgado Aguirre
Simón Josías Téllez Luis
José Alberto Ramírez de León
Gonzalo Velázquez de la Cruz*

Introducción

Desde sus inicios, la producción de pescado ha experimentado un desarrollo gradual que la ha convertido en una industria extendida por todo el mundo, alcanzando altos niveles de sofisticación en algunos casos. La pesca que es esencialmente un modo específico de caza, aún proporciona la mayor parte del pescado que se consume en el mundo, pero actualmente, el volumen de las capturas naturales está alcanzando su límite máximo, mientras que la aportación de la acuicultura es cada vez mayor (Madrid y otros, 1999).

La lisa es considerada en Tamaulipas una de las especies más abundantes; debido a que la hueva no se consume en la República mexicana, se busca a través de procesos de industrialización aumentar la vida de anaquel del producto para introducirla al mercado nacional o al mercado extranjero, por lo que el objetivo del presente estudio es establecer las condiciones de proceso adecuadas para la obtención de hueva de lisa seco-salada, así como hueva de lisa ahumada en caliente con características organolépticas aceptables.

Materiales y métodos

Materia prima

La hueva fresca de lisa (*Mugil cephalus*) se obtuvo directamente de pescadores ubicados en el puerto El Mezquital municipio de Matamoros, Tamaulipas. Se transportó en hieleras al área de trabajo (laboratorio) almacenándola en congelador hasta su uso.

La hueva seco-salada comercial se obtuvo de dos lugares: una muestra del Oriente obtenida por proceso artesanal y la otra muestra obtenida de España marca Gourmet de élite

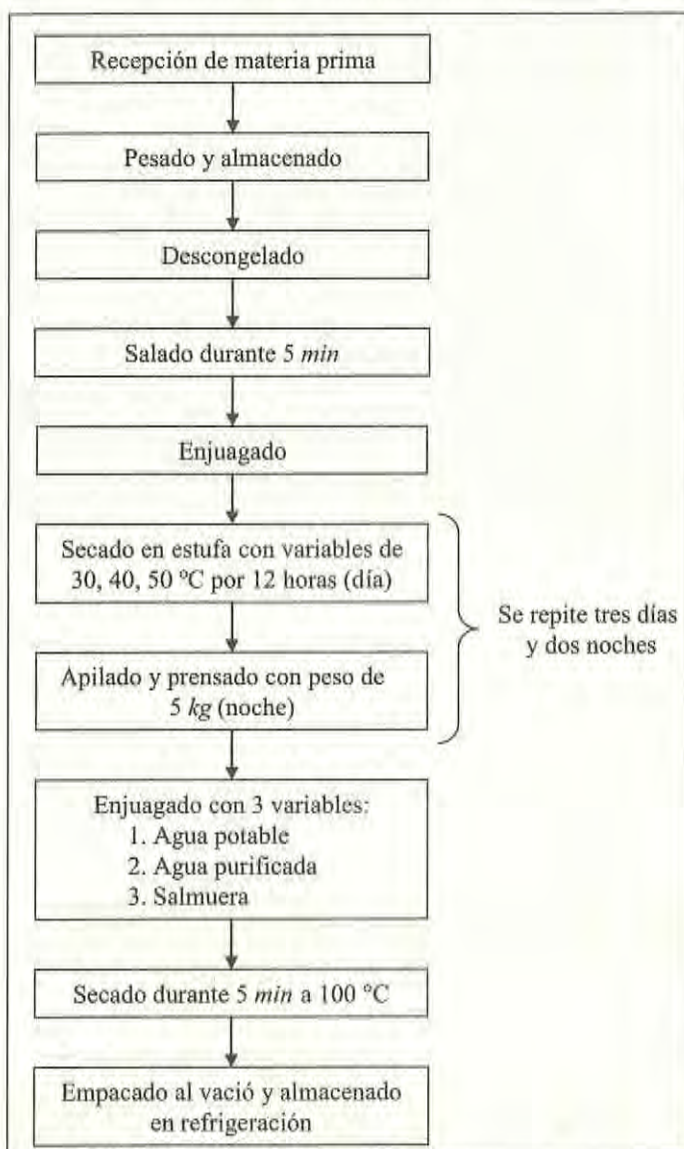
Proceso de seco-salado

El procedimiento utilizado para la hueva seco-salada se describe en la figura 1. La hueva se descongeló, se lavó y se eliminó el tejido ventral adherido. Se añadió sal hasta cubrirla por completo durante cinco minutos a temperatura ambiente. Posteriormente se lavó y se escurrió antes de secarla en una estufa (Binder modelo FED 53-UL, Tuttlingen, Alemania). Se emplearon tres temperaturas (30, 40 y 50 °C) y una velocidad de aire de 10 m/s. El secado consistió en 12 horas de secado propiamente durante el día y un prensado por las noches. En las primeras dos noches se colocó la hueva fuera de la estufa para extraer el exceso de humedad prensándolo con la ayuda de 5 kg. El proceso se repitió durante tres días (72 horas) hasta que tomó una coloración café oscura y una consistencia dura. Una vez seca la hueva se enjuagó. Para establecer el efecto del enjuagado en la carga microbiana se utilizó con agua potable, agua purificada y salmuera. La formulación de la salmuera fue la siguiente; por cada 2 kg de hueva se emplearon para la infusión 7.5 g de laurel y 7.5 g de pimienta con 500 ml de agua hasta ebullición, los reactivos usados fueron 140 g de fosfatos; 4 g de eritorbatos; 7.5 g de sorbato de potasio; 40 g de sal; 35 g de cura regal; 30 g de azúcar, agua y hielo al 50-50, los cuales ya pesados se mezclaron con la hueva y con la infusión. Terminado el lavado se colocaron 5 min en la estufa a 100 °C, una vez seca se empacó. El producto terminado se muestra en la figura 2.

Proceso de ahumado

El procedimiento utilizado para el proceso ahumado de la hueva de lisa se describe en la figura 3. La hueva se descongeló, se lavó y extrajo el tejido sobrante del pescado;

Figura 1
Diagrama general para el proceso de seco
salado para la huevo de lisa



Fuente: Delgado, 2007.

Figura 2
Producto terminado de hueva seco-salada

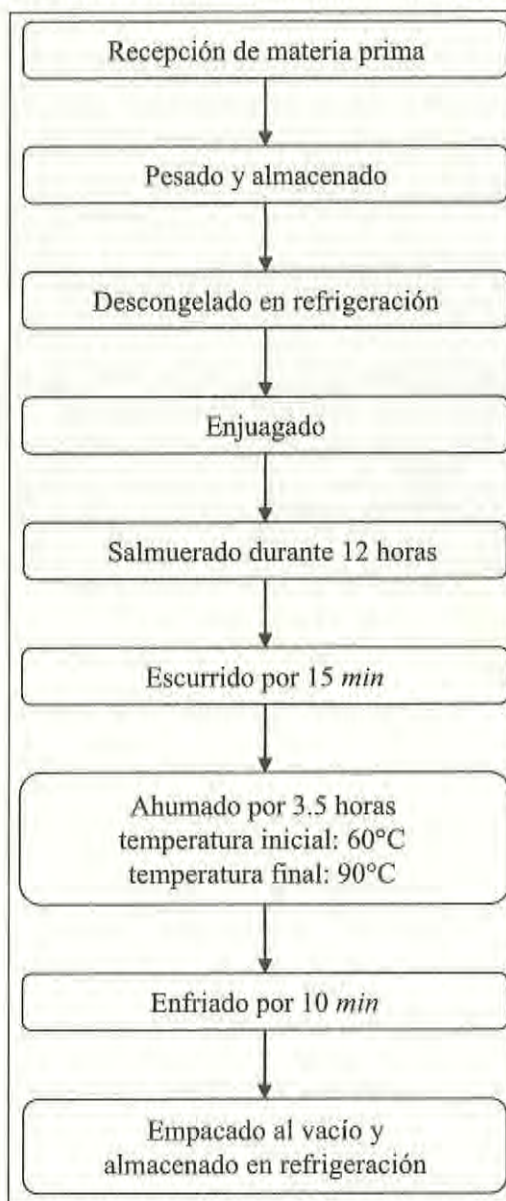


Fuente: Delgado, 2007.

se preparó la salmuera (como se describió en el proceso de seco salado); se añadió agua y hielo al 50-50; ya pesados se añadió la salmuera y la infusión a la hueva. El proceso de salmuerado consistió en mantenerlo durante 12 horas en refrigeración a una temperatura de 4 °C, procediendo a colocarlo en el equipo de ahumado (Alta tecnología y Diseño S. A. de C. V, México) donde se introdujo en las parrillas del equipo con una temperatura preestablecida de 60 °C. Para la generación de humo se utilizó madera de mezquite. El proceso de ahumado se realizó durante tres a cuatro horas y media, hasta alcanzar una temperatura de 90 °C en el ahumador a una temperatura de 63 °C en el interior del producto. Después del proceso de ahumado se procedió a empacar al vacío. El producto terminado se muestra en la figura 4.

Figura 3

Diagrama general para el proceso de ahumado para la huevo de lisa



Fuente: Delgado, 2007.

Figura 4
Empaque del producto



Fuente: Delgado, 2007.

Análisis bromatológicos

Humedad

El contenido de humedad se determinó por secado en estufa (Fisher Isotemp serie 500), para lo cual se pesaron 10 g de hueva y se secaron a 110 °C hasta obtener peso constante. Los resultados se obtuvieron usando la siguiente fórmula:

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{\text{Peso inicial de la muestra} - \text{Peso final de la muestra}}{\text{Peso inicial de la muestra}} \times 100$$

Proteínas

El contenido en proteína total o proteína bruta, se determinó con el contenido de nitrógeno total mediante el método Kjeldahl. Se llevó a cabo por triplicado con 0.5 g de muestra. En cada matraz se añadieron 0.7 g de óxido de mercurio, 15 g de

sulfato de sodio, cinco perlas de vidrio y 25 ml de ácido sulfúrico. Se colocaron los matraces en el equipo y se dejó durante dos horas en el equipo para el proceso de digestión. Después de enfriados los matraces se añadieron 200 ml de agua destilada; 25 ml de tiosulfato de sodio al 8%; 1 g de granallas de zinc y 37.5 g de hidróxido de sodio. Se colocaron los matraces en la trampa de destilación, el destilado se recibió en matraces conteniendo 50 ml de ácido clorhídrico 0.1 N, hasta obtener 150 ml de la solución. Posteriormente se tituló con NaOH empleando como indicador rojo de metilo hasta obtener un vire de color rojo a amarillo.

Para establecer la normalidad del NaOH al 0.1 N (solución de 4 gramos de hidróxido de sodio en 1 litro de agua) se colocaron 50 ml de NaOH en la bureta. La solución a titular fue una solución de 0.4084 g de biftalato de potasio agregando 20 ml de agua destilada tibia usando como indicador de cinco a siete gotas de fenoftaleína.

Para establecer la normalidad del HCl al 0.1 N (solución de 8.3 ml en un litro de agua) se colocaron 50 ml en la bureta. La solución a titular fue una solución de 1.283 g de carbonato de sodio seco a 240 °C durante 30 minutos, diluidos en 250 ml de agua destilada. Se colocaron 25 ml de la solución usando un indicador de cinco a siete gotas de anaranjado de metilo. Se observó el vire de color anaranjado a rosa salmón.

Los cálculos se determinaron usando la siguiente fórmula:

$$N(\%) = \frac{(AxN) - (BxN) \times 0.0014}{C} \times 6.25 \times 100$$

En donde:

A = ml de ácido clorhídrico.

N = normalidad del ácido clorhídrico.

B = ml de hidróxido de sodio gastados en la solución.

N = normalidad del hidróxido de sodio.

C = peso de la muestra.

6.25 = factor de conversión de nitrógeno.

Grasas

Para la obtención de grasa se utilizó el equipo Soxtec (Soxtec System HT2 1046, Suecia) para cada muestra de huevo se pesaron 3 g libres de humedad. La muestra se colocó en un cartucho de extracción de asbesto, colocando algodón en la parte

superior del cartucho junto con el anillo metálico. En el vaso de aluminio previamente tarado se colocó una solución 1:1 acetona-hexano, colocando los vasos en el equipo en reflujo en posición "enjuagado" durante una hora y posición "hervido" durante otra hora. Este proceso se realizó a una temperatura entre 95 a 100 °C. El porcentaje de grasa se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Contenido de grasa (\%)} = \frac{B - A}{C} \times 100$$

Donde:

A = peso inicial del vaso.

B = peso final del vaso metálico.

C = peso de la muestra.

Cenizas

Se lavaron los crisoles con agua destilada y se llevaron a peso constante a temperatura de 110 °C. Se pesó la muestra en el crisol previamente tarado y se quemó con un mechero. Posteriormente se colocó en una mufla a temperatura de 550 °C observando la muestra cada tres horas hasta que la ceniza tomó un color blanco. Se colocaron los crisoles en un desecador 30 *min* hasta enfriarse.

Para calcular el porcentaje de ceniza se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Contenido de cenizas (\%)} = \frac{M2 - M1}{P} \times 100$$

Donde:

M1 = peso del crisol vacío.

M2 = peso del crisol con la muestra después de la incineración.

P = peso de la muestra en gramos.

Análisis de perfil de textura (TPA)

Se utilizó el texturómetro TA.XT2i (Stable Micro Systems, Viena Court, Inglaterra). Con una sonda cilíndrica de aluminio (P/50) de 50 *mm* de diámetro. Para analizar las muestras de 2 *cm* de ancho, 2 *cm* de largo y 1 *cm* de grosor, se tomaron dos variables de compresión de 50 y 75% de su altura inicial utilizando una velocidad de 60 *mm*min*⁻¹. Se determinaron los parámetros de fracturabilidad, dureza, cohesividad, resortividad y masticabilidad. Se analizaron seis muestras para cada tratamiento.

Análisis Warner-Bratzler

Se midió la fuerza de corte utilizando la navaja Warner-Bratzler en un texturómetro TA.XT2i (Stable Micro Systems, Viena Court, Inglaterra). Se usó una velocidad de corte de $60 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Las muestras tenían la misma forma geométrica 2 cm de ancho, 2 cm de largo y 1 cm de grosor. Se analizaron seis muestras para cada tratamiento.

Medición de atributos de color

El color se determinó utilizando un colorímetro HunterLab MiniScan XE Plus (modelo 45/0-L; Hunter Assoc., Va., Estados Unidos). Se calibró con las tejas blanca y negra. Se midieron los valores de $\text{CIE } L$, a^* , b^* , croma y matiz (*Hue*) ($\text{arc tan } b^*/a^*$). Se analizaron seis muestras, para cada tratamiento.

Evaluación sensorial

Se empleó la técnica de preferencia del consumidor descrita por Kramer y Twigg (1966). En este estudio se seleccionaron 50 personas al azar para determinar el grado de aceptación de la huevo seco-salada y ahumada por medio de un cuestionario diseñado para evaluar la apariencia general, sabor, olor, color, textura; si conocían este alimento y estarían dispuestos a comprarlo.

Para esta evaluación se utilizó una escala hedónica de siete puntos:

1. Me gusta mucho
2. Me gusta
3. Me gusta poco
4. Ni me gusta ni me disgusta
5. Me disgusta poco
6. Me disgusta
7. Me disgusta mucho

Análisis microbiológico

Para el estudio microbiológico de la huevo seco-salada y ahumada se determinó el análisis para recuento de organismos mesófilos aerobios en placa, recuento de

organismos coliformes totales y fecales por la técnica del número más probable, recuento de organismos coliformes en placa, recuento de *Staphylococcus aureus* y aislamiento y determinación de *Salmonella spp.* También se realizó un recuento de mohos y levaduras siguiendo la Norma Oficial Mexicana (NOM-129-SSA1-1995). Para el conteo de las colonias se utilizó un cuenta-colonias marca Boltex.

Resultados

Huevo seco salada

La huevo de lisa seco-salada es un producto de elaboración artesanal muy apreciado en los mercados asiático y europeo. Es un alimento rico en proteínas (46%) y grasa (13%), con alto contenido en humedad, posee un color rojo amarillento y una textura gomosa característica. En el presente trabajo se estudió el efecto de las condiciones de secado moderadas, en el rango de temperatura de 30 a 50 °C y velocidad de aire de 10 m/min, sobre las características de textura, color, composición química y carga microbiana del producto final.

Efecto del secado en la pérdida de humedad

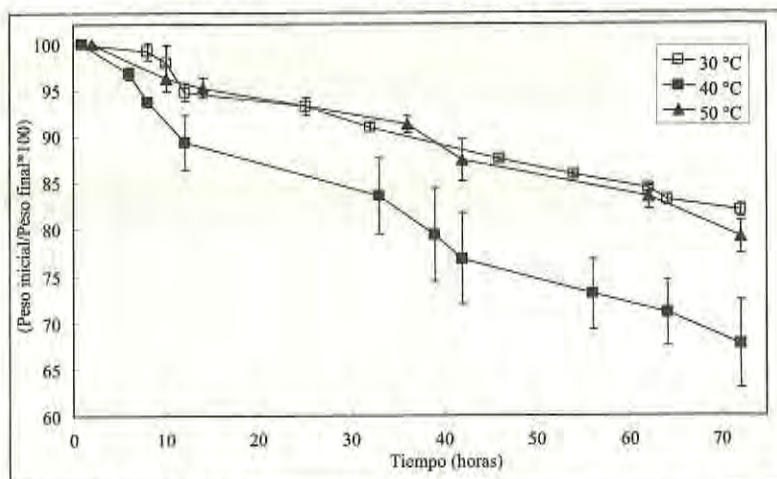
Se determinó el efecto de la temperatura en la pérdida de humedad de la huevo seco-salada. La huevo se secó a 30 40 o 50 °C durante 72 horas y se observó la pérdida de peso durante el proceso de secado. Los resultados se muestran en la figura 5. La temperatura de secado afectó la velocidad de pérdida de humedad, así como el contenido de humedad final del producto. Las muestras deshidratadas a 30 y 50 °C presentaron un comportamiento de secado similar, perdiendo 18 y 21% de su peso inicial durante el proceso. La muestra deshidratada a 40 °C mostró mayor velocidad de pérdida de humedad durante el proceso de secado, perdiendo 32% del peso inicial durante el secado. La baja velocidad de secado y la poca pérdida de peso del producto sometido a 50 °C, podría estar asociado con un endurecimiento de la corteza exterior del alimento, afectando la difusión de la humedad dentro de la muestra.

El secado solar de la huevo de lisa requiere condiciones climáticas adecuadas; la variación en la humedad relativa y temperatura afectan este procesamiento, por lo que es necesario establecer procesos de secado industriales que permitan mejorar el control de la humedad (Hsu y Deng, 1980). El secado de la huevo de lisa, empleando deshidratación industrial, se afecta fuertemente por la temperatura y la velocidad

del aire. A este respecto, Chau y otros (1982), recomiendan condiciones de secado inferiores a 45 °C, para facilitar la difusión del agua dentro de la huevo de lisa, durante el proceso de secado. Hsu y otros (1980) reportan que se obtiene un color más adecuado, al cual denominan café oro (*golden brown*) utilizando condiciones de secado de 30 °C y velocidad de secado de 50 m/min, durante 150 horas. Sin embargo, los autores mencionan que el tiempo de secado es prolongado y por lo mismo costoso. La huevo seco-salada debe conservarse a temperaturas de refrigeración por debajo de los 15 °C, para que conserven el color café oro característico de este alimento (Hsu y otros, 1983). Por su parte Fan y otros (2003) reportaron que la huevo de lisa puede ser deshidratada más rápidamente en cámaras de secado industrial, si se utilizan dos o tres ciclos de secado-prensado durante el proceso. Estos autores recomiendan un secado a 35 °C, humedad relativa de 60% y velocidad de aire de 60 m/min. El tiempo final de secado fue de 98 horas.

En el presente estudio las muestras obtuvieron mejores características al utilizar tres ciclos de secado-prensado, deshidratando a 30 ó 40 °C y velocidad de aire de 10 m/min.

Figura 5
Comportamiento de las curvas de secado
de la huevo de lisa a 30, 40 y 50 °C



Fuente: Delgado, 2007.

Color

El color de la hueva de lisa varía entre especímenes. La hueva cruda presenta un color amarillo oro, con diferentes tonalidades. Esta variación entre especímenes podría estar asociada con el pigmento del alimento que consumen los pescados. Una vez realizado el proceso de seco-salado, las huevas adquieren tonalidades café oro características, con variaciones de intensidad y matiz, dependiendo del color original del producto; pese a estas diferencias, el producto tiende a oscurecerse por efecto de la temperatura de secado o de almacenamiento.

En el presente trabajo se determinó el color de huevas de lisa seco-saladas, deshidratadas a 30, 40 y 50 °C y se comparó su color con el de dos productos comerciales, uno europeo y uno asiático. Los resultados se muestran en la tabla 1.

Tabla 1
Resultado de color en diferentes tratamientos.
Promedio de dos muestras y seis repeticiones
con desviación estándar entre paréntesis

<i>Tratamiento</i>	<i>L</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	<i>Croma</i>	<i>Matiz</i>
Secado a 30 °C	34 17 ^c (1 79)	18 59 ^c (0 811)	26 23 ^c (2 25)	32 17 ^d (1 96)	54 57 ^e (2 40)
Secado a 40 °C	34 63 ^c (2 81)	18 18 ^c (1 373)	38 36 ^d (7 12)	42 50 ^e (6 89)	64 18 ^d (3 50)
Secado a 50 °C	23 81 ^a (2 17)	14 75 ^b (1 516)	14 20 ^a (1 93)	20 51 ^b (2 11)	43 80 ^a (3 47)
Oriental	29 95 ^b (1 53)	9 21 ^a (0 905)	10 86 ^a (2 38)	14 31 ^a (2 02)	49 24 ^b (6 08)
Europa	32 23 ^{b,c} (1 30)	19 32 ^c (1 094)	18 76 ^b (2 27)	26 94 ^c (2 33)	44 02 ^a (2 09)

Fuente: Delgado, 2007.

Nota: a, b y c; letras distintas señalan diferencia significativa entre tratamientos.

La hueva seco salada a 50 °C mostró el valor más bajo de luminosidad (L^*), seguido por la muestra asiática (tabla 1). Las muestras tratadas a 30 y 40 °C mostraron los valores más altos, que no fueron diferentes al valor de L^* reportado para la muestra

europaea ($P < 0.05$). El matiz de la muestra deshidratada a 50 °C fue similar al matiz de las muestras comerciales, en tanto que las muestras deshidratadas a 30 y 40 °C presentaron un matiz más alto, correspondiente a una tonalidad menos rojiza y más amarillenta. La muestra secada a 40 °C presentó el valor más alto de croma, seguida de la muestra secada a 30 °C. Estos resultados muestran que aunque el método de secado puede inducir diferentes atributos de color, existe una amplia variación del matiz y la intensidad de color de las muestras.

Análisis de perfil de textura

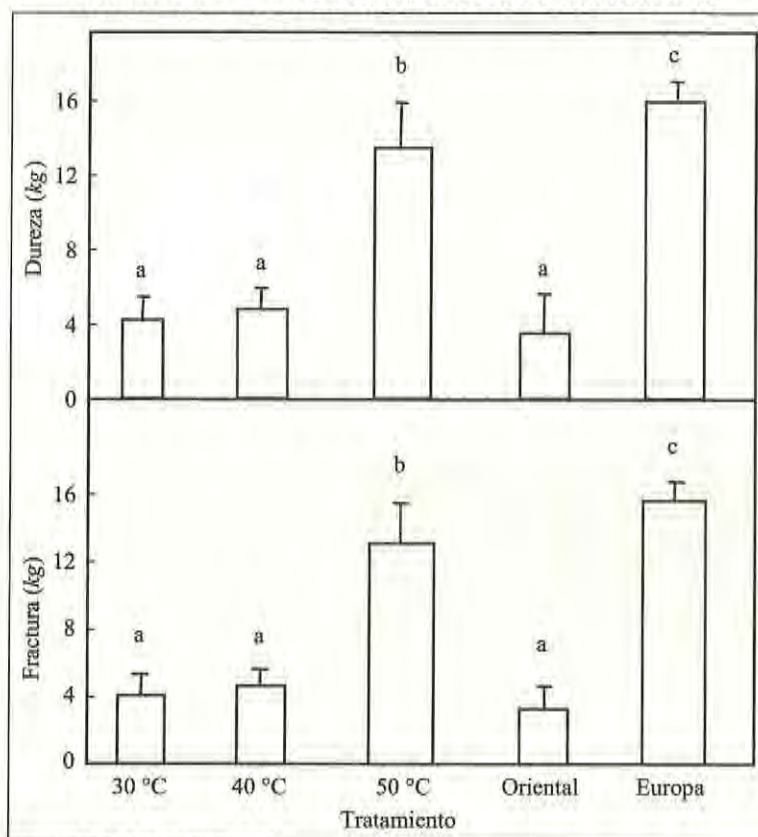
Las muestras de huevo de lisa producidas en el laboratorio se sometieron a una compresión del 50% para establecer el efecto del procesamiento sobre su textura. Los valores de textura se compararon con los valores obtenidos de dos muestras comerciales. Los resultados se muestran en las figuras 5 y 6.

Las muestras deshidratadas a 50 °C presentaron un valor de dureza más alto que las muestras tratadas a 30 o 40 °C. Esta dureza mayor puede estar asociada con un secado más rápido que indujo un endurecimiento superficial, el cual impidió la difusión de las moléculas de agua disminuyendo la cantidad de agua extraída durante el secado (figura 5). Sin embargo, la dureza de las muestras comerciales varió ampliamente, la muestra asiática fue similar a las muestras secadas a 30 y 40 °C, en tanto que la muestra europea fue más dura que la muestra secada a 50 °C. La fracturabilidad de las muestras presentó un comportamiento similar al de la dureza (figura 5).

En la figura 6 se muestra el efecto de la temperatura de deshidratación sobre las propiedades de cohesividad, resortividad y masticabilidad. La cohesividad fue muy baja en todas las muestras variando de 0.2 a 0.25. La muestra oriental presentó el valor más alto mientras que la muestra deshidratada a 30 °C tuvo el valor más bajo.

La masticabilidad presentó un comportamiento similar a la dureza y fracturabilidad. La muestra europea y la deshidratada a 50 °C presentó valores más altos que la muestra asiática y las muestras deshidratadas a 30 y 40 °C. La resortividad fue muy baja en todos los productos, variando de 0.18 a 0.3. La muestra deshidratada a 30 °C presentó el valor más alto, en tanto que la muestra deshidratada a 40 °C mostró el valor más bajo. Los resultados obtenidos señalan que las muestras presentaron valores de textura similares a los productos comerciales. Sin embargo el método de secado afectó la textura final del producto ya que las muestras deshidratadas a 50 °C presentaron una mayor dureza, lo cual se asocia con la velocidad del secado.

Figura 5
Resultados de textura en los diferentes tratamientos



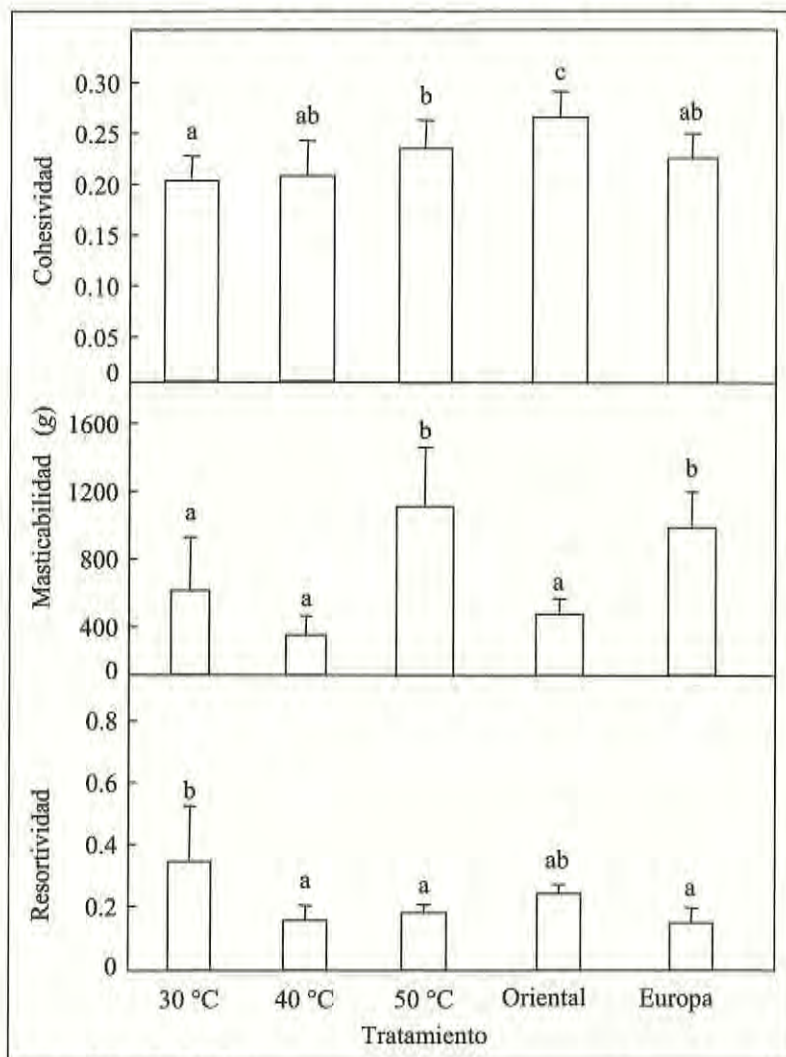
Fuente: Delgado, 2007.

a, b y c = letras distintas indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

Fuerza máxima de corte

Se determinó el efecto de secado sobre la fuerza máxima de corte, utilizando una navaja Warner-Bratzler. Los resultados se pueden apreciar en la figura 7. La muestra deshidratada a 50 °C mostró un valor más alto de corte en comparación con las muestras deshidratadas a 30 y 40 °C, comportamiento similar al obtenido en dureza y fracturabilidad. Estos resultados indican que el secado rápido obtenido a 50 °C induce una mayor dureza y una menor pérdida de humedad probablemente debido al endurecimiento de las capas exteriores de la huevo de lisa.

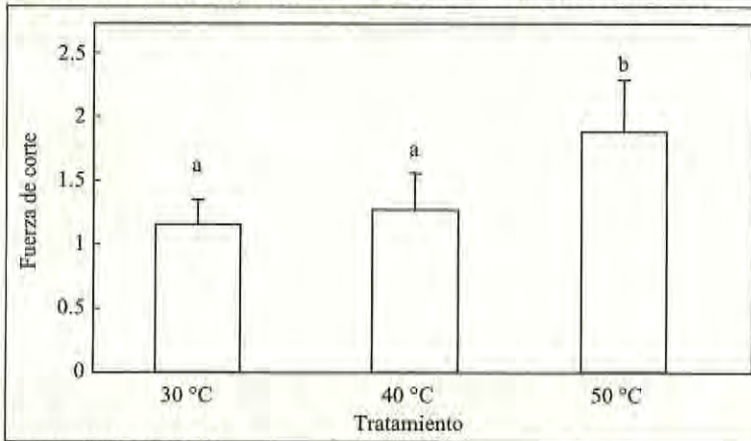
Figura 6
Resultado de textura en los diferentes tratamientos



Fuente: Delgado, 2007.

a, b y c = letras distintas indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

Figura 7
Efecto de la temperatura de secado en la fuerza de corte



Fuente: Delgado, 2007.

a, b y c = letras distintas indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

Composición química

La hueva cruda es un alimento con contenido de humedad moderado (40%), rica en proteína (45%) y lípidos (12.8%) como se muestra en la tabla 2. La muestra deshidratada a 30 °C, presentó una reducción parcial del contenido de humedad alcanzando una concentración del 32.8%, pero incrementando su concentración de proteínas a 48.1% y de lípidos a 16.2 por ciento. Las muestras comerciales presentaron un nivel de humedad más bajo (21 a 22.5 por ciento). La concentración de proteínas fue más alta en la muestra asiática, mientras que el contenido de lípidos fue más alto en la muestra europea. El contenido de cenizas fue mayor en la muestra europea que en la asiática, siendo mucho más baja en la muestra deshidratada a 30 °C. La Norma Oficial Mexicana NOM-129-SSA1-1995 establece un contenido máximo de humedad de 40% y de cloruro de sodio del 20% para alimentos seco-salados, sin regulación del contenido de proteínas u otros constituyentes.

La composición de la hueva de lisa fresca varía ampliamente según reportes de literatura, la humedad se reporta en el rango de 52 a 61.5%, la proteína de 22.6 a 25.9%, la grasa de 13.7 a 15.5%, ceniza 1.31 a 1.8 (Hsu y Deng, 1980; Hsu y otros, 1980). La lisa seco-salada varía también ampliamente: humedad 24.19 a 30.5%; proteína 35.5 a 41.16%; grasa 18.17 a 25.7% y cenizas 4.29 a 5.4% (Lu y otros, 1979; Hsu y Deng, 1980; Hsu y otros, 1980; Bledsoe y otros, 2003).

Los resultados encontrados en el presente estudio y en la literatura, establecen que este producto es un alimento nutritivo, rico en proteínas y grasa. El perfil de lípidos de la huevo de lisa lo hace un alimento muy nutritivo, con un alto contenido en ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga. También destaca su elevado contenido de lisina, considerado un aminoácido esencial limitante (Lu y otros, 1979).

Tabla 2
Resultado del análisis proximal de la huevo de lisa con diferentes tratamientos. Promedio de dos muestras y desviación estándar entre paréntesis

<i>Tratamiento</i>	<i>Humedad (%)</i>	<i>Proteínas (%)</i>	<i>Grasas (%)</i>	<i>Cenizas (%)</i>
Huevo cruda	40.00 (0.002)	45.07 (0.009)	12.79 (0.004)	1.44 (0.004)
Secada a 30 °C	32.80 (0.008)	48.15 (0.007)	16.20 (0.005)	2.33 (0.003)
Oriental	21.02 (0.02)	53.43 (0.019)	16.29 (0.003)	5.92 (0.004)
Europa	22.58 (0.009)	46.41 (0.008)	19.70 (0.004)	8.34 (0.006)

Fuente: Delgado, 2007. Valores promedio de dos muestras y seis repeticiones. El valor entre paréntesis señala la desviación estándar.

Evaluación sensorial

Se realizó una prueba de aceptación de consumidor con 50 personas que evaluaron el producto. El público seleccionado estaba compuesto por 28 hombres y 22 mujeres. La edad fluctuó entre los 18 a los 56 años. Los resultados de su evaluación se muestran en la tabla 3.

La aceptación del producto por parte de los consumidores fue buena. Aunque algunos consumidores calificaron los atributos del producto con la categoría máxima de “me gusta mucho”, la mayoría de las calificaciones oscilaron entre “me gusta” y me “gusta poco”. En general los atributos de color y textura tuvieron la mayor aceptación, seguidos de la apariencia general. En el sabor y el olor, alrededor del 40% de la población manifestó que el producto les gustaba o les gustaba mucho. En tanto que 30% de los encuestados manifestaron que estos atributos les disgustaban.

El 78% de las personas encuestadas manifestaron que no conocían este producto. Por otra parte, 56% señaló que sí lo compraría (figura 8). La aceptación por parte de 44% de la población encuestada que manifestó interés por comprar el producto concuerda con la evaluación sensorial, ya que entre 40 y 67% de los encuestados lo calificaron favorablemente en diferentes aspectos sensoriales (“me gusta” o “me gusta mucho”).

Los resultados encontrados indican que el producto elaborado en este estudio tiene una buena aceptación. Esto es interesante porque el producto es nuevo en el mercado local (menos del 22% de los evaluadores lo conocía) y presenta un sabor fuerte, característico de los alimentos seco-salados, en los cuales su aceptación organoléptica suele darse gradualmente.

Tabla 3
Resultados de evaluación sensorial de hueva seco-salada

<i>Calificación</i>	<i>Apariencia general (%)</i>	<i>Color (%)</i>	<i>Olor (%)</i>	<i>Sabor (%)</i>	<i>Textura (%)</i>
Me gusta mucho	0	6	3	6	5
Me gusta	30	61	39	34	51
Me gusta poco	40	30	12	26	33
Ni me gusta ni me disgusta	6	2	15	2	8
Me disgusta poco	24	1	1	20	2
Me disgusta	0	0	30	12	1
Me disgusta mucho	0	0	0	0	0

Fuente: Delgado, 2007.

Análisis microbiológico

El análisis microbiológico de los productos obtenidos durante los estudios preliminares mostró un alto contenido de bacterias mesofílicas aerobias, con cuentas que superaban los valores de 1×10^6 . La hueva seco-salada tiende a generar altas cuentas microbianas, debido a las condiciones de temperatura que se emplean en su secado, y el exudado rico en proteínas y grasas que se genera durante el proceso de deshidratación. Hsu y otros (1983), reportaron cuentas microbianas superiores a 1×10^7 . La norma nacional NOM-129-SSA1-1995 establece para estos productos una cuenta máxima de 500 000 UFC/g de bacterias mesófilas aerobias,

Figura 8
Nivel de conocimiento y aceptación del producto por el público encuestado en la prueba de aceptación organoléptica (n - 50 personas)



Fuente: Delgado, 2007.

menos de 230 bacterias coliformes fecales en 100 g de alimento (empleando el método del número más probable), ausencia de *Salmonella* spp en 25 g de alimento y un valor negativo para *Vibrio cholerae* O:1 toxigénico en 50 g de alimento.

Se estableció un sistema más riguroso en el manejo higiénico de las muestras, lo que permitió reducir la cuenta total de bacterias mesófilas aerobias, a valores dentro de la norma, pero aún con una elevada incidencia. Se estudió entonces el enjuagado del alimento una vez deshidratado, para eliminar el exudado superficial

y los microorganismos que contenía. El enjuagado consistió en un frotamiento de la superficie del alimento, utilizando guantes, mientras se escurría sobre el producto agua o salmuera limpia. Los alimentos enjuagados se sometieron a un secado a 60 °C por cinco *min*, enfriado a temperatura ambiente. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.

Tabla 4
Efecto de la temperatura de secado en la calidad microbiológica

<i>Microorganismo</i>	<i>Tratamiento</i>	30 °C	40 °C	50 °C
Mesófilicos aerobios	Control	425 000 ± 63 640	2 800 ± 707	(-)
	Agua	5 500 ± 424	(-)	(-)
	Salmuera	4 350 ± 1 060	(-)	(-)
Coliformes fecales	Control	(-)	(-)	(-)
	Agua	(-)	(-)	(-)
	Salmuera	(-)	(-)	(-)
<i>Salmonella spp</i>	Control	(-)	(-)	(-)
	Agua	(-)	(-)	(-)
	Salmuera	(-)	(-)	(-)
<i>Vibrio cholerae</i>	Control	(-)	(-)	(-)
	Agua	(-)	(-)	(-)
	Salmuera	(-)	(-)	(-)

Fuente: Delgado, 2007.

La muestra control deshidratada a 30 °C presentó un alto contenido de bacterias mesófilas aerobias. Esta cuenta se redujo a menos de 5 500 UFC/g en los alimentos enjuagados. No hubo diferencia por efecto del método de enjuagado. Las muestras deshidratadas a 40 °C presentaron sólo 2 800 UFC/g y la muestra deshidratada a 50 °C no presentó crecimiento microbiano. En ambas temperaturas, el tratamiento de enjuagado y secado permitió eliminar la contaminación microbiana. No se encontraron coliformes fecales, *Salmonella spp* o *Vibrio cholerae* en ninguna de las muestras analizadas. Estos resultados indican que existe menor riesgo de crecimiento microbiano al deshidratar los alimentos a 40 °C. El método de enjuagado y secado desarrollado permite incrementar la calidad microbiológica del alimento final.

El alimento se empacó al vacío y se almacenó en congelación. En la tabla 5 se muestran los resultados microbiológicos de las muestras almacenadas 30 y 60 días.

Se observó que la muestra control redujo considerablemente su cuenta microbiana después de 60 días de almacenamiento congelado, en tanto que en el resto de las muestras la cuenta permaneció relativamente sin cambios.

Tabla 5
Efecto del almacenamiento congelado de la huevo seco-salada
en la calidad microbiológica

Tiempo (Días)	30°C			40°C		
	Control	Agua	Salmuera	Control	Agua	Salmuera
0	425 000 ± 63 640	5 500 ± 424	4 350 ± 1060	2800 ± 707	0	0
30	445 000 ± 35 355	6 150 ± 70	4 800 ± 141	2800 ± 282	0	0
60	49 000 ± 14 142	6 050 ± 70	5 250 ± 353	3350 ± 919	0	0

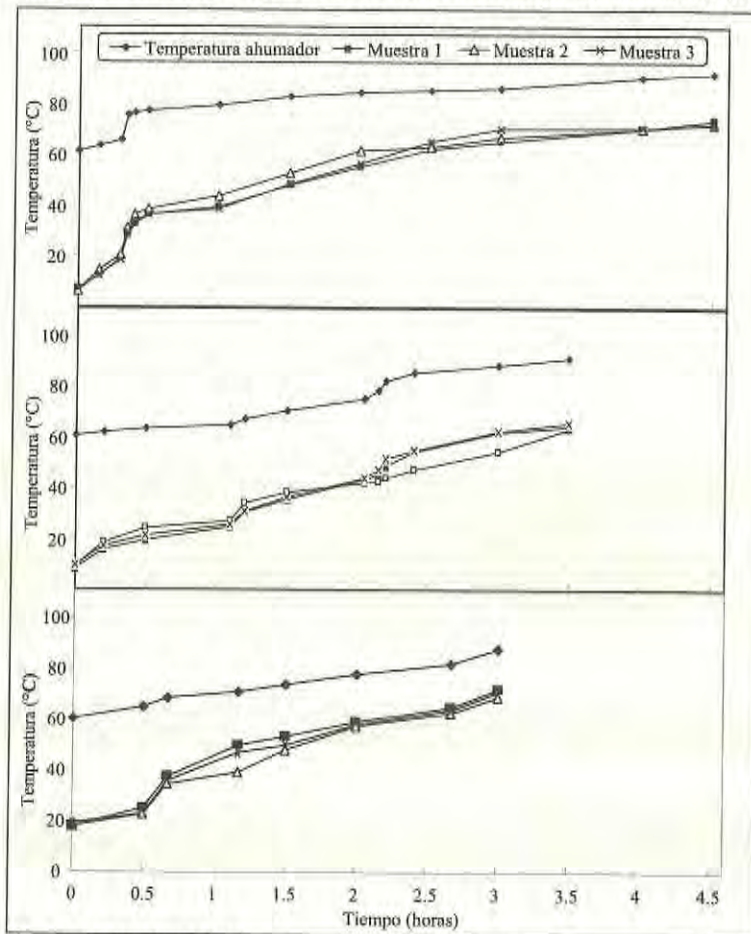
Fuente: Delgado, 2007.

Huevo ahumada

Se desarrolló un producto ahumado a partir de huevo de lisa fresca congelada. La huevo después de descongelada se sometió al proceso de salmuera y posteriormente a un proceso de ahumado. Se desarrollaron tres estudios de ahumado variando el tiempo de exposición al humo durante 3, 3.5 y 4 horas. En la figura 9 se muestran los perfiles de temperatura obtenidos en cada uno de los estudios.

La temperatura del ahumador incrementó gradualmente de 60 a 90°C durante el proceso de ahumado, pero no se encontró un patrón del incremento de temperatura entre los diferentes estudios, lo que señala que el equipo no logró regular su calentamiento y varió en su incremento de temperatura interna de manera un tanto aleatoria. La temperatura del producto aumentó de acuerdo con el incremento de la temperatura del ahumador, pero no en una forma proporcional. El efecto de las condiciones de ahumado en las características de textura y apariencia general se evaluaron visualmente por los participantes del estudio. Las muestras ahumadas por 4.5 horas presentaron un secado excesivo y consistencia quebradiza. Las muestras deshidratadas por 3.5 horas mostraron una apariencia más agradable visualmente, por lo que se seleccionaron estas condiciones de secado como las más adecuadas para obtener los productos que posteriormente serían evaluados sensorialmente.

Figura 9
Cambio de la temperatura durante el ahumado de la huevo de lisa



Fuente: Delgado, 2007.

Análisis microbiológico

Los resultados del análisis microbiológico se muestran en la tabla 6. La huevo fresca presentó valores de mesófilos aerobios de 1 900 UFC/g y negativos para coliformes fecales, *Salmonella spp* y *Vibrio cholerae*. Los productos ahumados presentaron valores negativos para estos microorganismos, independientemente del tiempo de

ahumado. Estos resultados muestran que el proceso desarrollado permite obtener un producto que cumple con la Norma Oficial Mexicana NOM-129-SSA1-1995, que establece la característica de calidad microbiológica para estos alimentos.

Tabla 6
Resultados de análisis microbiológicos de huevo ahumado

<i>Microorganismos</i>	<i>Huevo fresco</i>	<i>Huevo ahumado</i>		
		3 horas	3.5 horas	4.5 horas
Mesófilos aerobios	1900 ± 141	(-)	(-)	(-)
Coliformes fecales	(-)	(-)	(-)	(-)
<i>Salmonella</i> spp	(-)	(-)	(-)	(-)
<i>Vibrio cholerae</i>	(-)	(-)	(-)	(-)

Fuente: Delgado, 2007.

Color

El proceso de ahumado causó cambios en los tres atributos de color de la huevo de lisa (luminosidad, matiz y croma), como se aprecia en la tabla 7. El incremento en el valor de matiz indica que el ahumado aumentó la tonalidad amarilla del producto final. Este producto presentó también un incremento en la intensidad o croma y un color más luminoso.

Tabla 7
Efecto del ahumado en los atributos de color.
Promedio de seis repeticiones con desviación estándar

<i>Producto</i>	<i>L</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	<i>Croma</i>	<i>Matiz</i>
Huevo cruda	32.2±1.02	19.2±0.09	28.36±0.07	32.15±2.04	49.25±0.08
Huevo ahumada	35.81±0.99	20.26±1.21	30.77±2.51	36.92±3.16	56.36±0.06

Fuente: Delgado, 2007.

Composición química

El proceso de ahumado modificó la concentración de nutrientes en la hueva de lisa (tabla 8) ya que disminuyó el contenido de humedad y de grasa e incrementó la concentración de proteínas y cenizas. La pérdida de humedad se debe principalmente a un proceso de deshidratación, en tanto que la pérdida de grasa se debió al escurecimiento de la misma durante el ahumado. El aumento del contenido de sales fue propiciado por uso de la salmuera.

Tabla 8
Resultados del análisis proximales

<i>Producto</i>	<i>Humedad (%)</i>	<i>Proteínas (%)</i>	<i>Grasas (%)</i>	<i>Cenizas (%)</i>
Hueva cruda	40.00 ± 0.01	45.07 ± 0.01	12.79 ± 0.01	1.44 ± 0.01
Hueva ahumada	38.54 ± 0.02	47.14 ± 0.01	6.56 ± 0.01	4.90 ± 0.01

Fuente: Delgado, 2007.

Evaluación sensorial

El producto fue evaluado por 50 consumidores recibiendo muy buena aceptación (tabla 9). La apariencia general fue evaluada por 50% de la población encuestada como "me gusta" o "me gusta mucho". El color, el olor y la textura fueron evaluados favorablemente por 68, 74 y 58% de la población, respectivamente. En tanto que el sabor fue bien aceptado por 40% de los evaluadores, pero rechazado por 30% de esta misma población.

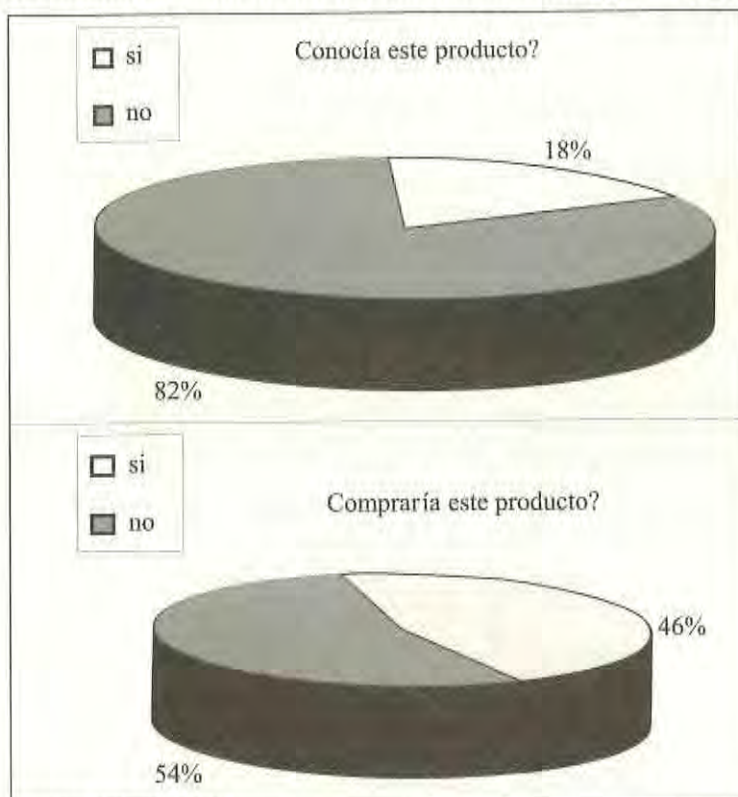
Tabla 9
Resultados de evaluación sensorial de hueva ahumada

<i>Calificación</i>	<i>Apariencia general (%)</i>	<i>Color (%)</i>	<i>Olor (%)</i>	<i>Sabor (%)</i>	<i>Textura (%)</i>
Me gusta mucho	28	30	36	6	14
Me gusta	22	38	38	34	44
Me gusta poco	18	16	2	28	18
Ni me gusta ni me disgusta	10	10	10	2	10
Me disgusta poco	12	3	2	10	8
Me disgusta	0	3	4	20	6
Me disgusta mucho	0	0	8	0	0

Fuente: Delgado, 2007.

El 82% de las personas encuestadas no conocían el producto, mientras que el 18% que manifestó conocerlo, mencionó que habían consumido la huevo de lisa, pero no ahumada. El 46% de la población manifestó que compraría el producto (figura 10), lo cual coincide con los resultados de aceptación sensorial, particularmente en lo que a sabor se refiere.

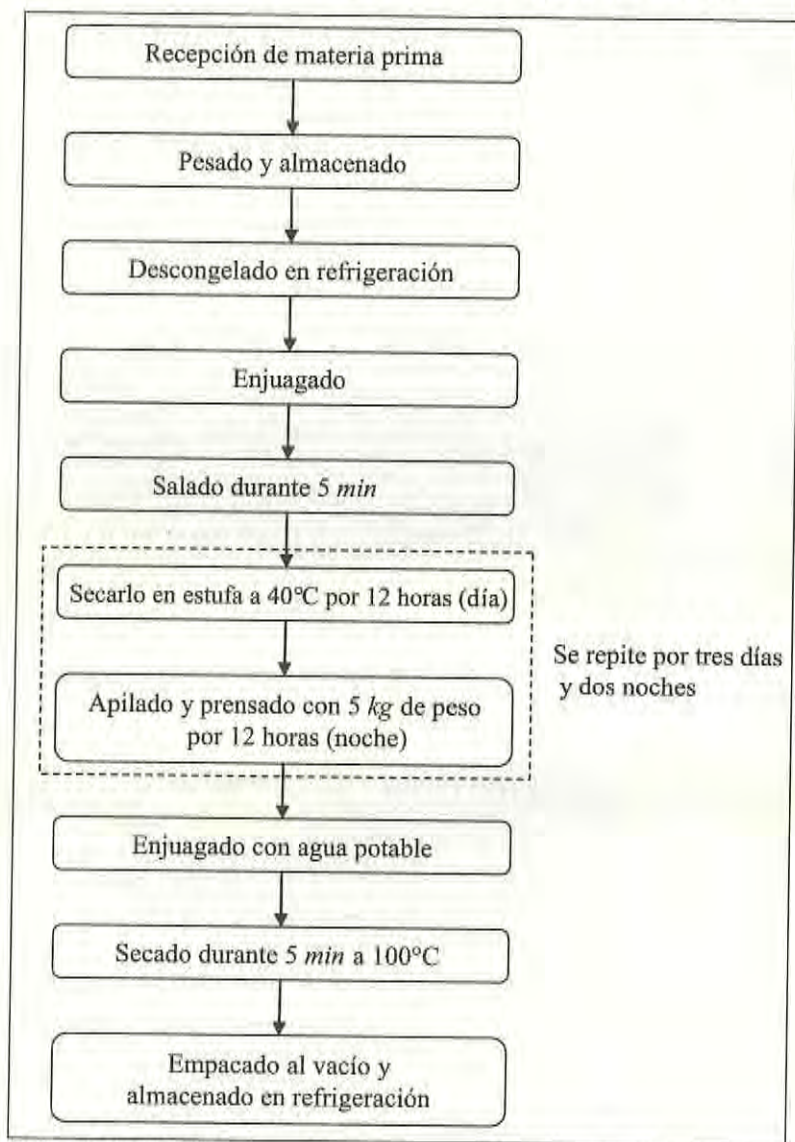
Figura 10
Nivel de conocimiento y aceptación del producto por el público
encuestado en la prueba de aceptación organoléptica (n - 50 personas)



Fuente: Delgado, 2007.

Anexo

Diagrama de flujo de proceso de hueva seco-salada



Fuente: Delgado, 2007.

Ingredientes

- Huevo de lisa.
- Sal.
- Salmuera (infusión: laurel, pimienta, agua; eritorbatos, fosfatos, azúcar, sorbato de potasio, sal, cura regal, agua, hielo).

Procedimiento

1. Descongelar la huevo de lisa.
2. Cubrir totalmente de sal durante un periodo de cinco *min*
3. Enjuagar con agua potable y se escurrirlas por 15 *min*
4. Colocarlas en la estufa de secado a 40 °C durante 12 horas.
5. Colocarlas fuera de la estufa en una base de plástico o metal cubriéndola con tela porosa y aplicar cinco *kg* de peso para extraer humedad del alimento.
6. Repetir el secado y el prensado hasta cubrir las 72 horas del proceso.
7. Enjuagar con salmuera para reducir la carga microbiana.
8. Secar durante cinco minutos a 60 °C.
9. Empacar al vacío y almacenarse en refrigeración.

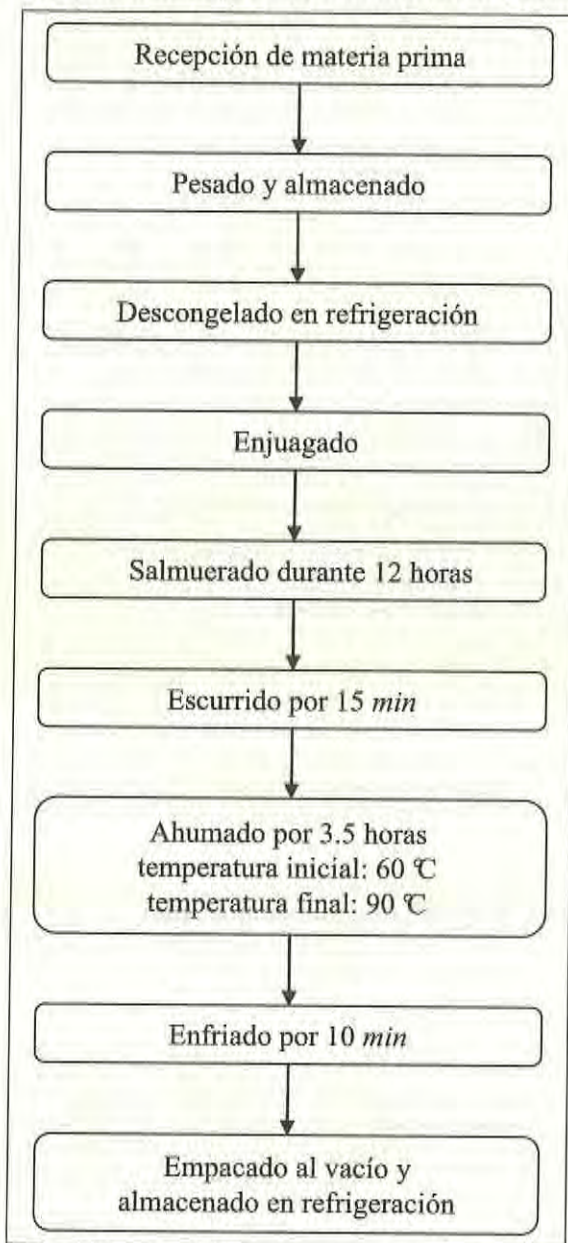
Ingredientes

- Huevo de lisa.
- Salmuera (infusión: laurel, pimienta, agua; eritorbatos, fosfatos, azúcar, sorbato de potasio, sal, cura regal, agua, hielo).
- Virutas de leña mezquite.

Procedimiento

1. Descongelar la huevo y lavarla.
2. Preparar la salmuera y colocarla en un recipiente con la huevo.
3. Dejarla reposar por 12 horas aproximadamente en refrigeración.
4. Escurrir la huevo y colocarla en el ahumador a una temperatura inicial de 60 °C.
5. Ahumar por 3.5 horas elevando la temperatura gradualmente hasta 90 °C.
6. Enfriar la huevo ahumada por 10 *min*.
7. Empacar al vacío y almacenarse en refrigeración.

Diagrama de flujo de proceso de hueva ahumada



Fuente: Delgado, 2007.

Conclusiones

El secado por aire de la hueva de lisa permite obtener alimentos con características de color y textura similares a la de los productos comerciales y que se obtienen de forma artesanal. La temperatura de secado influye fuertemente en la calidad microbiológica y textura final del producto. En este estudio se estableció la temperatura de 40 °C como la más adecuada para el proceso de secado, usando una velocidad de aire de 10 m/min. Las condiciones de secado por encima de esa temperatura inducen un color oscuro que se asocia con productos de mala calidad en el mercado actual.

El método de ahumado en caliente es un proceso adecuado para obtener un producto alimenticio con buenas características organolépticas y sanitarias, aceptable para un sector de la población que gusta de este tipo de alimentos.

Los métodos de conservación industrial desarrollados en este estudio pueden ser utilizados para dar valor comercial agregado a la hueva de lisa que se captura en la Laguna Madre en Tamaulipas y que actualmente se comercializa como materia prima fresca-congelada.

Fuentes consultadas

- Bledsoe, G. E.; C. D. Bledsoe y B. A. Rasco (2003), "Caviar and Fish roe Products", *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, núm. 43, vol. 2, pp. 233-271.
- Chau, K. V.; J. J. Heinis y M. Pérez (1982), "Sorption Isotherms and Drying Rates for Mullet Fillet and Roe", *Journal of Food Science*, núm. 47, vol. 4, pp. 1318-1322.
- Delgado Aguirre, D. P. (2007), *Desarrollo de un proceso de seco salado y ahumado de hueva de lisa*, tesis de licenciatura en Nutrición y Ciencia de los Alimentos, Universidad Autónoma de Tamaulipas, México.
- Fan, C. C.; S. P. Llaw; W. R. Fu y B. S. Pan (2003), "Mathematical Model for Prediction of Intermittent Drying and Pressing Process of Mullet Roe", *Journal of Food Science*, núm. 68, vol. 3, pp. 886-891.
- Hsu, H. W.; J. C. Deng; J. A. Koburger y J. A. Cornell (1980), "Effect of Salting Time, Dehydration Temperatures and Dehydration Time on Quality of Intermediate Moisture Mullet Roe", *Journal of Food Science*, núm. 45, pp. 102-106.
- Hsu, H. W.; C. Deng; J. A. Koburger y J. A. Cornell (1983), Storage Stability of Intermediate Moisture Mullet Roe, *Journal of Food Science*, núm. 48, pp. 172-175.
- Hsu, H. W. y J. C. Deng (1980), "Processing of Cured Mullet Roe", *Journal of Food Science*, vol. 45, pp. 97-101.

- Lu, Y. J.; M. Ma.; C. Williams y R. A. Chung (1979), "Fatty and Amino Acid Composition of Salted Mollet Roe", *Journal of food science*, núm. 44, pp. 676-667.
- Madrid, A.; J. Vicente y R. Madrid (1999), *El pescado y sus productos derivados*, Madrid, AMV Mundi-Prensa.
- Norma Oficial Mexicana. NOM-129-SSA1-1995. Bienes y servicios. Productos de la pesca: secos-salados, ahumados, moluscos cefalópodos y gasterópodos frescos-refrigerados y congelados. Disposiciones y especificaciones sanitarias.

Elaboración de alimento para camarón

*Cristavel Pérez Mayo
José Alberto Ramírez de León
Gonzalo Velázquez de la Cruz
Efrén Garza Cano*

Introducción

Tamaulipas tiene una importante actividad pesquera dedicada principalmente a la captura del camarón y la venta de pescado fresco y fresco-congelado en forma entero o fileteado. La ausencia de propuestas tecnológicas para este sector productivo en Tamaulipas ha frenado seriamente su desarrollo, contrastando con el desarrollo industrial que se presenta en el Pacífico mexicano. El objetivo de este trabajo es aprovechar al máximo el esfuerzo pesquero que existe actualmente, lo cual incluiría una mejor comercialización de fauna de acompañamiento de camarón, especies no comerciales, desechos de fileteo y separación mecánica de la carne. Se propone el aprovechamiento de la carne no apta o no apetecible para consumo humano mediante el desarrollo de alimentos para camarones. Estos alimentos deberán tener una mayor calidad biológica que la que se obtiene por el secado industrial denominado *quema* y que aplica la industria harinera de pescado. Los alimentos obtenidos por esta técnica suelen contaminar el entorno acuático en el que se encuentran al favorecer el crecimiento de vegetación acuática excesiva. Por otro lado la piel y las espinas pueden aprovecharse para crear gelatina de pescado (INP, 2000).

Sin embargo la pesca de camarón presenta un reto importante: el aprovechamiento de la pesca incidental que acompaña a la captura y selección del camarón; se estima que en promedio anual la captura anual de camarón que supera las 14 mil toneladas. Por lo que la Fauna de Acompañamiento representa un volumen de al menos 42 mil toneladas, de las cuales 60% (25 mil toneladas) son especies

de pescado de tamaño pequeño o de escaso mercado. En números fríos la captura de camarón provoca el desperdicio de un volumen de pescado de bajo valor comercial (25 mil *ton*) superior al volumen de pesca que se trae al puerto y se comercializa (17.5 *ton*). La pesquería más importante tanto desde el punto de vista de captura como económica es la del camarón, que por sí sola representa alrededor del 30% de la captura y más del 50% del valor económico total de la actividad pesquera.¹

Es por ello que se vuelve imprescindible para el estado aprovechar estos productos mediante la camaronicultura. La maricultura ha crecido exponencialmente en las últimas dos décadas. Actualmente 25% de los mariscos para consumo humano son obtenidos en cultivos. La industria de alimentos balanceados para acuicultura en México registró un crecimiento del 150% en los últimos cinco años, sumando un valor total aproximado de 65 millones de dólares al cierre del 2003. El reto que enfrenta en el corto plazo, es el abasto de materias primas de calidad suficiente que soporten este ritmo de crecimiento, y la diversificación hacia otras especies para disminuir el riesgo que representa la camaronicultura (Morales y otros, 2001).

El desarrollo y uso de alimentos balanceados ha sido muy importante en la exitosa expansión global de las industrias de cultivo de camarón, y su uso continuará mostrando un importante crecimiento en el futuro, para mantener estas industrias rentables y ecológicamente viables. La camaronicultura ofrece interesantes posibilidades para las personas que se dedican a la producción de camarón, acerca de influir favorablemente sobre el valor nutricional, el sabor, el color, la calidad sanitaria, la textura y en la vida de anaquel de los organismos después de la cosecha (Ezquerro-Brauer y otros, 2004).

La industria de la acuicultura tiene grandes ventajas sobre los pescadores. El acuicultor puede cosechar los organismos con menos estrés y daño físico de acuerdo con las demandas del mercado; asimismo, puede controlar la talla y la calidad de los productos para mercados específicos (Ezquerro-Brauer y otros, 2004). Existe un potencial considerable para mejorar y optimizar las prácticas actuales de manejo de alimentación, que deberían ser específicas para diferentes especies, áreas y hasta para época del año (Bolívar, 2001). Sin embargo, y en contraste con este efecto benéfico, la maricultura puede convertirse en un problema para los recursos pesqueros, ya que depende de éstos para elaborar alimentos destinados a los organismos de cultivo y provoca la afectación de las zonas vecinas a las granjas de cultivo mediante la descarga de aguas con alto contenido de materia orgánica. Uno de los principales problemas asociados a la maricultura es el empleo de alimentos con alto contenido

¹ Adaptado de http://www.tamaulipas.gob.mx/gobierno/secretarias/sec_obras/dir_med_amb/dir_recursos_naturales/diagnostico/primarias.htm; consultado en junio de 2000.

de nitrógeno pero de baja calidad proteica, debido a que los productores de alimentos y los maricultores han asociado tradicionalmente y de manera empírica una alta concentración de proteína con una buena calidad del alimento (Escutia, 1996).

El objetivo de este trabajo es desarrollar un alimento para camarones juveniles a partir de pastas de pescado de lisa; con mayor calidad biológica que el que ofrecen los alimentos comerciales que se encuentran actualmente en el mercado.

Materiales y métodos

Materia prima

Lisa (Mugil cephalus)

Para la elaboración del alimento reestructurado de alto valor nutricional con base proteica de pescado adicionado con sorgo para la alimentación del camarón, se utilizó músculo de lisa, la cual fue comprada en filetes en un centro comercial cercano al laboratorio de proceso; fue transportada en una hielera y se mantuvo en congelación hasta su procesamiento.

El sorgo (*Sorghum bicolor*), se obtuvo de una forrajera local y fue molido para obtener la harina. Se emplearon también cloruro de calcio (laboratorio J. T. Baker); colestero, Grado NF en polvo (*Research Organics*); óxido de cromo en polvo (Tecnología Industrial Química S.A. de C.V.) y vitaminas en mezcla líquida de agua diodizada (Kent Marines, Estados Unidos) que incluye espirulina, kelp, ácido ascórbico, propionato de vitamina A, palmitato de vitamina A, calciferol, ácido fólico, niacina, tiamina, pantonato de calcio, vitamina B1, B6, cloruro de magnesio, riboflavina B2, B12, biotina, acetato de tocoferol, complejo menadiona (vitamina K3) de la marca Kent Marines.

Metodología

La carne fue descongelada durante 2 horas previas al proceso de elaboración y fue lavada. Los filetes fueron pesados en una balanza (ACCULAB VI-1200, con capacidad de 1 200 g, Estados Unidos); la cantidad de carne pesada dependió del tratamiento a elaborar, y una vez troceado se introdujo en una cortadora (Hobart, Estados Unidos) durante cinco minutos para obtener una pasta.

Se estudiaron cinco formulaciones para la elaboración del alimento de camarón, determinando el efecto de la variación del porcentaje de carne de pescado, presente

en el alimento. Se utilizó músculo de lisa (100%) y además se hicieron mezclas de músculo de lisa y harina de sorgo de 80/20, 70/30, 60/40, 50/50%, respectivamente. Las formulaciones se muestran en la tabla 1.

Para la elaboración de la pasta de pescado se adicionaron a los filetes de lisa durante la etapa de cortado en estricto orden: 30 g de sal (NaCl); 6 g de cloruro de calcio (CaCl₂); 1.4 g de colesterol; 0.6 g de óxido de cromo y 56.7 g de vitaminas en estado líquido. En la figura 1 se muestra el diagrama de flujo del proceso.

Posterior a la etapa de cortado, la mezcla se homogenizó manualmente durante 20 min. La pasta se formó en cilindros delgados con una dulla (equipo de repostería) similar a los *pellets* comerciales para obtener muestras uniformes con un diámetro aproximado de 2 mm, los cuales se colocaron sobre una charola de acero inoxidable y se secaron en una estufa (Modelo BINDER, Serie-Nr. 03-48980, Tuttlingen, Alemania) a 45 °C durante ocho horas aproximadamente hasta peso constante.

A las muestras de alimento por cada tratamiento se les determinó humedad, cenizas, grasa, proteínas, textura, humectabilidad, deshidratación, densidad y turbidez, por medio de un espectrofotómetro y densidad.

Obtención de la pasta

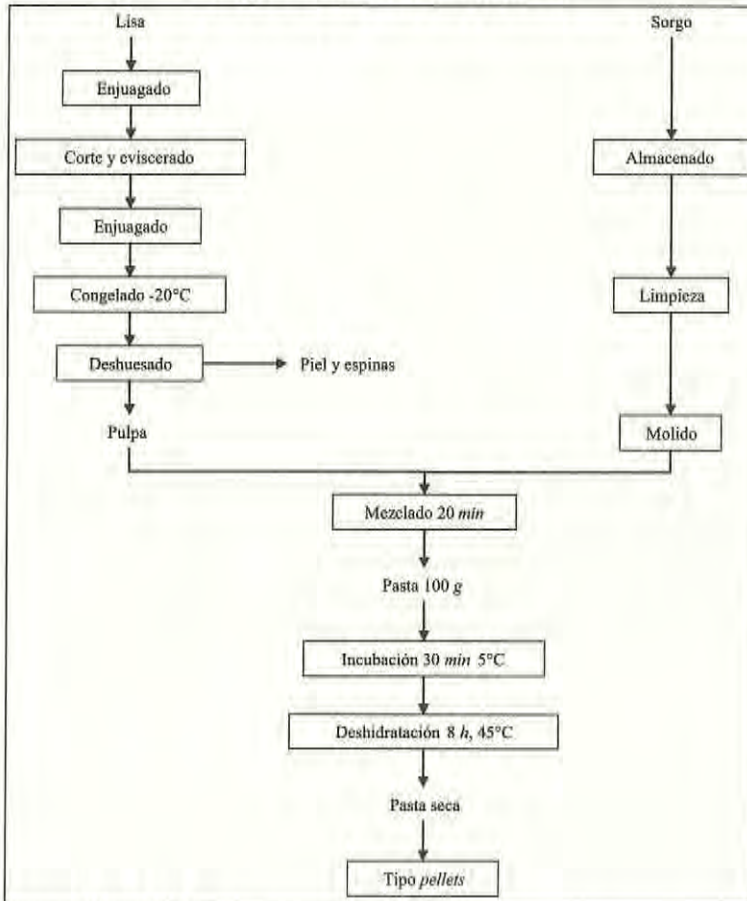
La pasta se obtuvo introduciendo los filetes en la una cortadora (Hobart, Estados Unidos). Las formulaciones nutricionales se prepararon de acuerdo con la tabla 1, variando las concentraciones de harina de sorgo y pescado.

Tabla 1
Composición de los alimentos a desarrollados (g/100 g de alimento)

Ingrediente	Concentración de harina de sorgo				
	0%	20%	30%	40%	50%
Pescado (%)	100	80	70	60	50
Vitaminas y minerales (g)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Colesterol (g)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Cloruro de calcio (g)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Sal (g)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Oxido de cromo (g)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Agua (g)	0	40	60	80	100

Fuente: Pérez, 2007.

Figura 1
Diagrama general del proceso



Fuente: Pérez, 2007.

Obtención de las mezclas

Mezcla 100 % pescado/0 % sorgo

Se tomaron 2 kg de pulpa de pescado y se pasaron a la cortadora (Hobart) por 3 min, donde, en el primer minuto se agregó 1.5% de sal y en los 2 min restantes cloruro de

calcio (0.3%). Además se le adicionó 0.6 g de óxido de cromo, 1.4 g de colesterol y 56.7 g de vitaminas.

Mezcla 80% pescado/20% sorgo

Se tomaron 1.6 kg de pulpa de pescado y se pasaron a la cortadora (Hobart) por 3 min, donde, en el primer minuto se agregó 1.5% de sal y en los 2 min restantes cloruro de calcio (0.3 por ciento). Además se le adicionó 0.6 g de óxido de cromo, 1.4 g de colesterol y 56.7 g de vitaminas. También se adicionaron 400 g de harina de sorgo la cual fue calentada previamente con 800 ml de agua destilada para gelatinizar el almidón.

Mezcla 70% pescado/30% sorgo

Se tomaron 1.4 kg de pulpa de pescado y se pasaron a la cortadora (Hobart) por 3 min, donde, en el primer minuto se agregó 1.5% de sal y en los 2 min restantes cloruro de calcio (0.3%). Además se le adicionó 0.6 g de óxido de cromo, 1.4 g de colesterol y 56.7 g de vitaminas. También se adicionaron 600 g de harina de sorgo la cual fue calentada previamente con 1 200 ml de agua destilada, para gelatinizar el almidón.

Mezcla 60% pescado-40% sorgo

Se tomaron 1.2 kg de pulpa de pescado y se pasaron a la cortadora (Hobart, Estados Unidos.) por 3 min, donde, en el primer minuto se agregó 1.5% de sal y en los 2 min restantes cloruro de calcio (0.3 por ciento). Además se le adicionó 0.6 g de óxido de cromo; 1.4 g de colesterol y 56.7 g de vitaminas. También se adicionaron 800 g de harina de sorgo la cual fue calentada previamente con 1 600 ml de agua destilada, para gelatinizar el almidón.

Mezcla 50% pescado-50% sorgo

Se tomó 1.0 kg de pulpa de pescado y se pasó a la cortadora (Hobart, Estados Unidos) por 3 min, donde, en el primer minuto se agregó 1.5% de sal y en los 2 min restantes cloruro de calcio (0.3%). Además se adicionó 0.6 g de óxido de cromo, 1.4 g de

colesterol y 56.7 g de vitaminas. También se adicionó 1 kg de harina de sorgo la cual fue calentada previamente con 2 000 ml de agua destilada, para gelatinizar el almidón.

Los alimentos obtenidos fueron deshidratados en secador de bandejas y después de secado se midieron las propiedades físicas y fisicoquímicas.

Las formulaciones de los alimentos se realizaron de acuerdo a los resultados obtenidos de los análisis proximales ajustándose a las proporciones de pescado y sorgo incluidas en cada tratamiento.

Composición de los alimentos

El secado se realizó en una estufa (Blue M Eléctrica: STABIL-THERM Cd. Illinois, Estados Unidos) de circulación de aire forzado a 40 m/seg a una temperatura 45°C hasta peso constante. El efecto del procesamiento térmico sobre la estabilidad de las proteínas se determinó midiendo cambios en la solubilidad, y capacidad de rehidratación de los mismos.

Análisis químico proximal (AQP)

La determinación del análisis químico proximal (AQP) indica la composición bromatológica de cualquier alimento. Se determinó humedad, cenizas, grasa y proteína por triplicado a los tres tratamientos del alimento para camarón y al alimento control, utilizando las técnicas descritas en AOAC (1990).

Humedad

Para la determinación de humedad se pesaron 3 g de muestra de cada tratamiento así como al alimento control, colocándolos en crisoles a peso constante. Posteriormente se colocaron en una estufa, a una temperatura de 110 °C por 12 horas aproximadamente. Después del tiempo estimado, se colocaron los crisoles en un desecador por 30 min para disminuir la temperatura. La diferencia de pesos indica la materia seca, la cual se calcula con la siguiente fórmula:

$$SS(\%) = \frac{M2 - M1}{M3} \times 100$$

Donde:

SS = Sustancia seca.

M1 = Peso del crisol a peso constante.

M2 = Peso constante del crisol con la muestra después del secado.

M3 = Peso de la muestra en g.

Obteniendo el porcentaje de sustancia seca, por diferencia se calculó el porcentaje de humedad.

Cenizas

La determinación de cenizas representa el contenido en minerales del alimento y se lleva a cabo mediante la incineración de la muestra. Se pesó la muestra, se colocaron en crisoles y se calcinaron en un mechero Bunsen. Posteriormente se colocaron en la muffa a 560 °C por seis horas aproximadamente, en el tratamiento 50% sorgo fue de siete a ocho horas aproximadamente; posteriormente se colocaron en un desecador por 30 *min* para que disminuyeran la temperatura. Se tomó el peso final para calcular el porcentaje de cenizas mediante la fórmula:

$$\text{Cenizas (\%)} = \frac{M2 - M1}{P} * 100$$

Donde:

M1 = Peso del crisol a peso constante.

M2 = Peso del crisol con la muestra después de la incineración.

P = Peso de la muestra en g.

Grasa

La extracción de grasa se realizó en un equipo eléctrico (Soxtec System HT2 1045 Extraction Unit. Hogazas, Suecia) mediante solventes específicos. Se tomó 1 g de muestra libre de humedad, para ser colocado en cartuchos de extracción-celulosa. Se preparó una solución de hexano:acetona (1:1), y se adicionaron 60 *ml* de ésta en vasos metálicos (aluminio) del equipo, previamente a peso constante e identificados. El porcentaje de grasa se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$G(\%) = \frac{B - A}{C} \times 100$$

Donde:

G = Grasa.

A = Peso inicial del vaso metálico vacío.

B = Peso final del vaso metálico con muestra.

C = Peso de la muestra en g.

Proteína

Para la determinación analítica del contenido en proteína total, se determina el contenido de nitrógeno (N) después de eliminar la materia orgánica con ácido sulfúrico (método Kjeldahl) "Kjeldahl System" de Labconco (Estados Unidos) a temperatura comprendida entre 360 °C y 410 °C. Calculándose finalmente el contenido de proteína con ayuda de un factor (en general F= 6.25). Para la determinación se pesó 1 g de muestra de los tres tratamientos y del alimento comerciales. Los cálculos se realizaron mediante la siguiente fórmula:

$$\% N = \frac{(A : N1) - (B : N2)(0.014)}{C} \times 100$$

Donde:

A = ml de HCl que se mezclaron con la destilación.

N1 = Normalidad del HCl.

B = ml de NaOH gastados en la titulación.

N2 = Normalidad del NaOH.

C = g de muestra.

Análisis fisicoquímico del alimento

Densidad. Peso del alimento/el volumen del agua desplazada en una bureta.

Capacidad de absorción de agua (%). La capacidad de absorción de agua del alimento se determinó después de una hora de inmersión en agua, por diferencia de peso en proporción al peso inicial. El exceso de agua se eliminó por filtración y se determinó el (%) de agua retenida con respecto al peso inicial, en tres replicados.

Hidratación. El alimento se colocó en un recipiente en una atmósfera saturada de humedad, dentro de una estufa con una temperatura de 35 °C.

Absorbancia. El alimento se colocó en un matraz en agua con 3% de sal y se introdujo en un agitador mecánico (Dual Action Shaker; Estados Unidos) por 4 horas a una velocidad de 60 rpm.

Estos análisis permiten predecir la estabilidad de los alimentos durante el almacenamiento tanto dentro de los empaques como durante su introducción en los estanques.

Prueba de corte

Se midió la fuerza de corte utilizando la navaja Warner Bratzler en un texturometro TA-XT2i (Stable Micro Systems, Viena Court, Inglaterra). Se usó una velocidad de corte de 60 mm/min. Se utilizaron seis réplicas para cada tratamiento.

Este estudio se realizó con muestra húmeda (cinco horas de inmersión en agua). En otro estudio con la misma metodología se realizó una prueba con muestra seca, utilizando la misma cantidad de *pellets* para cada corte como en la muestra húmeda. El estudio realizado en *pellets* húmedos con tiempo de inmersión en agua de una y cuatro horas, se analizaron 10 réplicas de cada tratamiento con dimensiones de 1 x 0.5 cm a temperatura ambiente.

Evaluación de la digestibilidad del alimento

El alimento elaborado fue probado en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (Cibnor) con camarones juveniles *Litopenaeus vannamei* determinando la talla y peso que adquirirían los camarones alimentados únicamente con estas mezclas de pescado y sorgo, donde se utilizó un control de alimento comercial (Shrimp starter, Vimifos, S. A. de C. V).

Se vigiló la talla y peso de los camarones cada siete días, en una balanza analítica. Los camarones fueron alimentados con los cuatro grupos de alimentos mencionados anteriormente, donde se alimentó a cinco camarones en cinco recipientes cada uno, con una formulación diferente. El grupo F1 corresponde a los camarones alimentados con 50 g del alimento A, el cual fue vertido directamente en la pileta de los camarones cada 24 horas.

Se midió la actividad proteolítica total del hepatopáncreas de cada individuo y de cada tratamiento. También se evaluó la proteína soluble presente en los extractos enzimáticos provenientes del hepatopáncreas de los camarones.

Se evaluó el grado de hidrólisis de los alimentos (digestibilidad *in vitro*) por el método de pH-stat. Se hizo el ensayo utilizando las enzimas de cada uno de los grupos de camarones y el alimento con el cual se alimentaron durante el experimento.

También se realizó un ensayo utilizando enzimas comerciales para observar su comportamiento frente a los mismos alimentos utilizados con los camarones.

Análisis estadístico

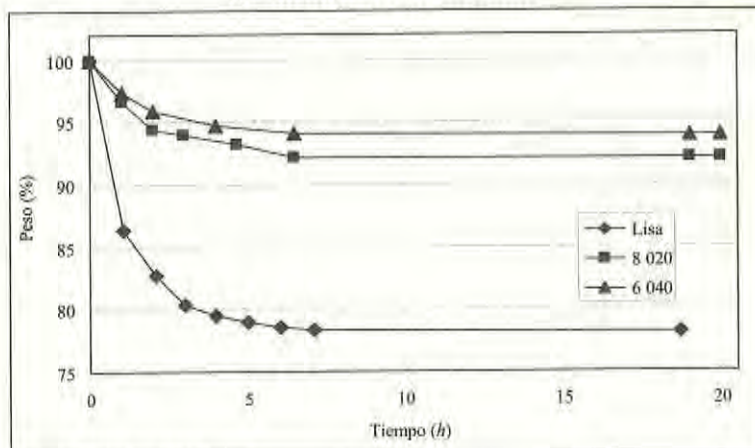
El análisis estadístico se realizó utilizando el programa Statgraphics 5.0 (Software Publishing Corporation, Bitstram Inc.), y se utilizó un diseño multifactorial y análisis de varianza, con la prueba de rangos múltiples LSD, determinando diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos.

Resultados

Curva de secado

La curva de secado del alimento indicado en la figura 2 establece que después de ocho horas aproximadamente se extrajo la cantidad de agua del alimento. En la muestra de carne de lisa se observa que disminuyó su peso (se extrajo 23%) lo que resultó ser un mayor porcentaje de agua extraída comparada con las muestras de 80-20 (8%) y 60-40 (6 por ciento). En muestra de 60-40% se extrajo la menor cantidad de agua.

Figura 2
Curva de secado del alimento para camarón en los alimentos formulados

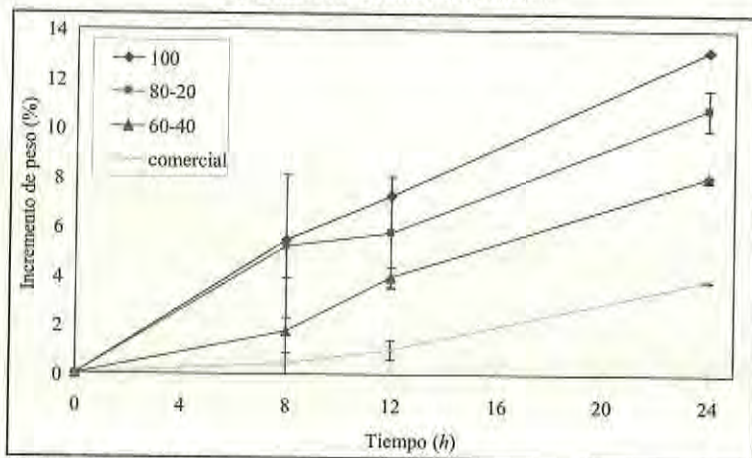


Fuente: Pérez, 2007.

Humectabilidad

Se probó el alimento elaborado para demostrar la humectabilidad de las muestras. En la figura 3 se observa que la muestra de lisa al 100% y la 80%-2% tuvieron mayor humectabilidad que las demás muestras analizadas. La muestra de alimento comercial tuvo la menor humectabilidad (3 por ciento).

Figura 3
Gráfica de humectabilidad

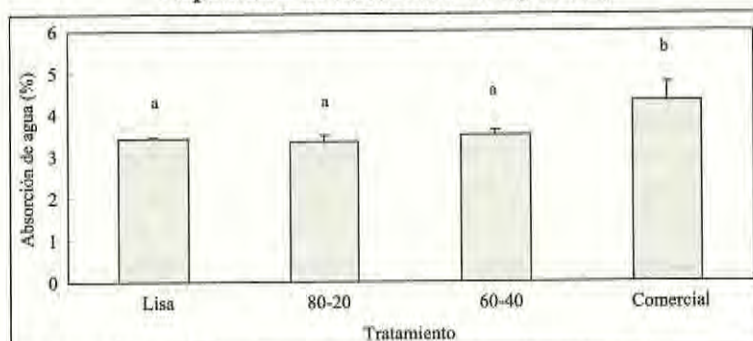


Fuente: Pérez, 2007.

Capacidad de absorción de agua

Dados los resultados que se muestran en la figura 4 comparando el alimento comercial con los tratamientos del alimento elaborado se establece que el porcentaje de absorción de agua difiere con una mayor absorción de agua para el alimento comercial (4.3%), seguido de los tres tratamientos que tienen la misma capacidad de absorción de agua con un promedio de 3.3-3.5% por lo que existe diferencia entre los tres tratamientos (lisa, 80-20 y 60-40) comparado con la muestra comercial. En estudios realizados por Cruz Suárez y otros (2002) los de mayor capacidad de absorción de agua del alimento se han ligado a un mayor consumo y un mayor crecimiento para los organismos y una modificación en la textura o dureza de los *pellets* húmedos. Comparando los alimentos presentan las mismas características físicas de acuerdo a los resultados obtenidos.

Figura 4
Capacidad de absorción de agua (%)



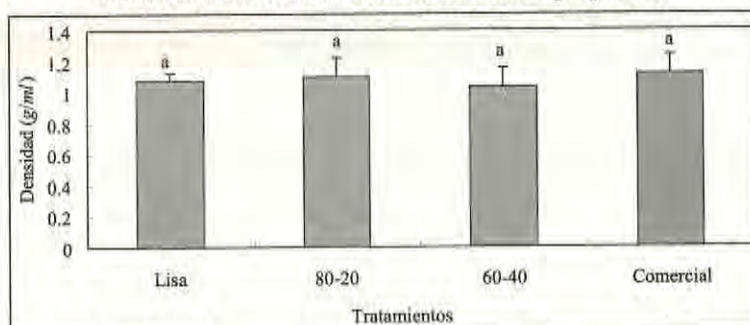
Fuente: Pérez, 2007.

Las letras *a*, *b* indican un análisis estadístico ($P < 0.5$).

Densidad

Los resultados en la figura 5 indican que las muestras de alimento en presentación tipo *pellets* presentan una densidad donde no hay diferencia significativas para todos los tratamientos, con valores entre (1-1.1 g/cc). En estudios realizados por Cruz y otros (2002) las muestras analizadas presentaron una densidad por pieza promedio de 1.26 g/cc, con valores individuales en el rango de 1.15 a 1.36 g/cc.

Figura 5
Densidad en muestra de alimentos tipo *pellets*



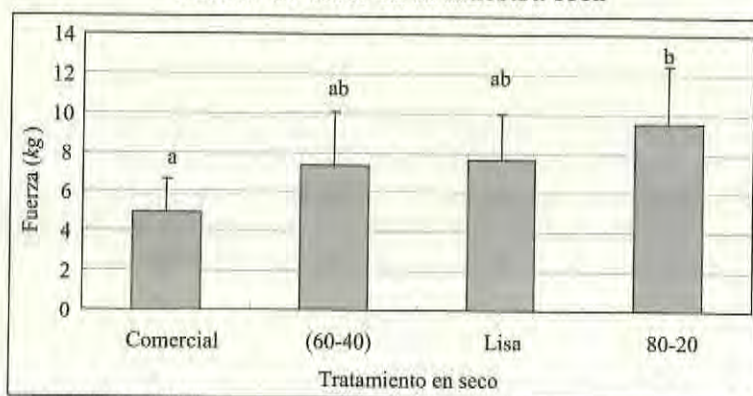
Fuente: Pérez, 2007.

Las letras indican los grupos homogéneos obtenidos del análisis estadístico ($P < 0.5$).

Fuerza de corte

En la figura 6 se muestra la gráfica de la fuerza de corte en base seca para determinar la dureza del alimento. Se observa que el alimento control presentó menos dureza que el alimento 80-20. Las muestras de 100% pescado y el tratamiento 60-40 ambas no presentan diferencias significativas en la dureza. Estos resultados tienen una similitud con los resultados del estudio realizado por Cruz-Suárez y otros (2002) quienes también reportan que la dureza de los *pellets* secos no está relacionada con la dureza en húmedo, sin embargo, en el alimento control sí se observó que la dureza del alimento húmedo y el alimento seco fue similar. Este comportamiento se debe a las características de hidratabilidad de los alimentos evaluados.

Figura 6
Fuerza de corte en la muestra seca



Fuente: Pérez, 2007.

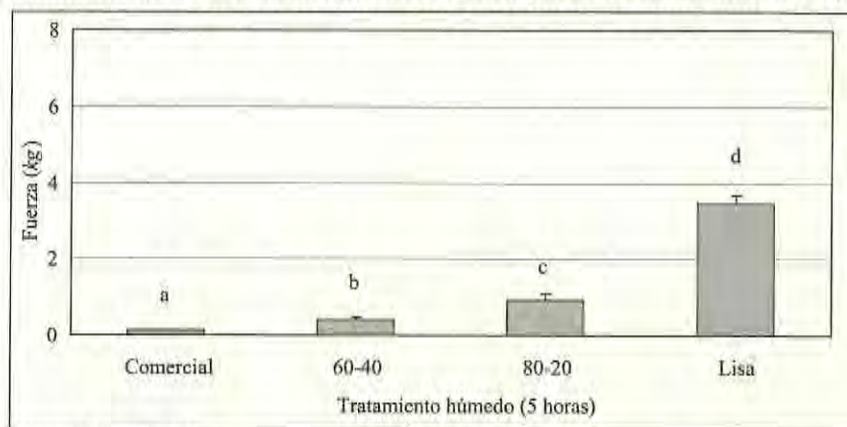
Las letras *a*, *b* indican un análisis estadístico ($P < 0.5$).

En la figura 7 se muestra la gráfica de fuerza de corte en muestra húmeda. Comparando los resultados con los alimentos tipo *pellets* secos y húmedos con la misma metodología se observa una drástica disminución en la dureza de los tipos *pellets* después de 5 horas de inmersión en 100 ml de agua salobre (3%). Se puede apreciar que el alimento control presentó menor dureza y el alimento con 100% de carne, la mayor dureza en los tiempos de inmersión en agua, lo cual coincidió con la capacidad de absorción de agua de los alimentos. La muestra de lisa presentó mayor fuerza de corte, donde los *pellets* quedaban con una consistencia elástica que impedía el corte. La muestra de alimento comercial presentó menor fuerza de corte pero lejos

de desintegrarse, el alimento quedaba con firmeza. Esto concuerda con los resultados de estudios realizados por Cruz-Suárez y otros (2002) con aglutinantes: harina de Kelp, harina de trigo molido y gluten donde los *pellets* húmedos presentan una relación inversa con la absorción de agua.

Figura 7

Fuerza de corte en muestra húmeda cinco horas de inmersión en agua



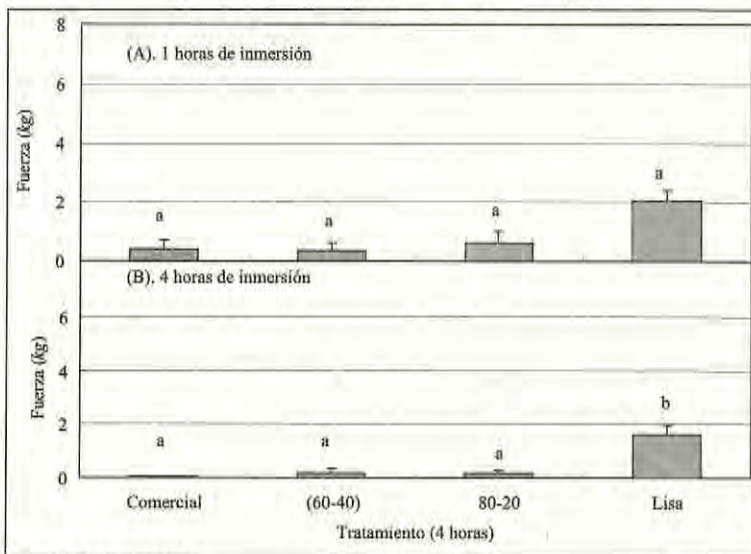
Fuente: Pérez, 2007.

Las letras *a*, *b* y *c* indican un análisis estadístico ($P < 0.5$).

Se determinó la fuerza de corte en base húmeda después de 1 hora de inmersión en agua; la figura 8(A) muestra los resultados de los alimentos y éstos presentan diferencia significativa, el estudio de las muestras fue individual para cada alimento, al tomar un tipo *pellet* el tratamiento con 1 hora de inmersión en agua presenta la mayor dureza el alimento lisa con una fuerza de (2 kg), comparado con el alimento comercial de una fuerza de (0.4 kg) y el alimento 60-40 con una fuerza de (0.3 kg). Éste es el alimento con menor fuerza de corte pero se desintegraba comparado con el alimento comercial. Comparando los resultados con la fuerza de corte en base húmeda después de cuatro horas de inmersión en agua con *pellets* individuales los resultados son similares, lo que indica que el tiempo de inmersión afecta en la dureza del alimento. El producto hecho a base de lisa fue el más duro pero con una fuerza de (1.9 kg) como lo muestra la figura 8(B). La fuerza de corte presentó características muy similares a la de las gráficas anteriores a los diferentes tiempos de incubación. En estudios realizados por Cruz y otros (2002) se encontró que los alimentos más duros en seco no son los más duros en húmedo, comparando los tratamientos ambos

tienen similitud en las características físicas en este estudio, y se demuestra que a mayor capacidad de absorción de agua, los *pellets* son más blandos.

Figura 8
Fuerza de corte en muestra húmeda después
de 1 y 4 horas de inmersión en agua

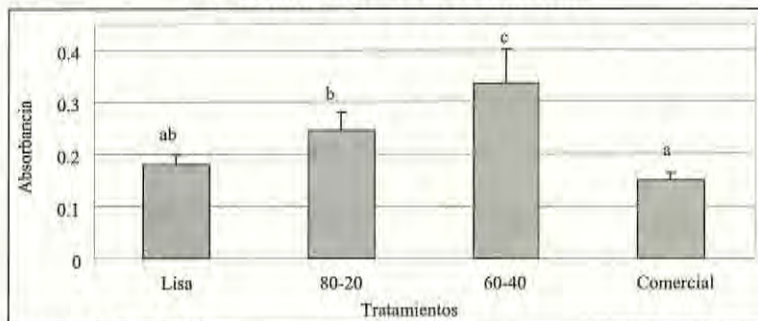


Fuente: Pérez, 2007.

Las letras *a*, *b* indican un análisis estadístico ($P < 0.5$).

En los resultados que se muestran en la figura 9, el tratamiento que presenta mayor absorbancia es el alimento con (0.34) de absorbancia, que corresponde al 60% pescado y 40% sorgo; el alimento control es el de menor absorbancia (0.15); los resultados muestran que el alimento con mayor contenido de sorgo es aquel que presenta una mayor turbidez, seguido por el tratamiento 80% pescado y 20% sorgo con una absorbancia de (0.18); esto se debe al mayor contenido de proteínas. Una mayor turbidez en la solución señala que el alimento se desintegró con mayor facilidad y enturbió el medio que lo contiene.

Figura 9
Absorbancia de los tratamientos



Fuente: Pérez, 2007.

Las letras *a*, *b* y *c* indican un análisis estadístico ($P < 0.5$).

Análisis químico proximal (AQP)

Tabla 2
Análisis químico de los alimentos

Alimento	Humedad (%)	Proteína (%)	Ceniza (%)	Grasa (%)	Carbohidratos (%)
100% pescado	7.76 ± 0.61	61.27 ± 5.47	15.10 ± 0.37	9.50 ± 2.18	6.36 ± 3.07
80% pescado-20% sorgo	7.73 ± 0.63	35.02 ± 8.36	6.18 ± 0.06	6.36 ± 1.59	44.79 ± 10.13
60% pescado-40% sorgo	7.64 ± 0.60	21.78 ± 6.07	4.66 ± 0.88	10.16 ± 2.84	55.76 ± 6.64
Alimento comercial	7.27 ± 0.12	43.82 ± 1.60	8.36 ± 0.12	8.46 ± 1.14	32.09 ± 2.93

Fuente: Pérez, 2007.

El resultado de los análisis proximales de los alimentos experimentales (porcentaje de base seca) que se muestran en la tabla 2, indica que los productos presentan una composición diferente en cada tratamiento. El contenido de proteína fue mayor en el alimento 100% pescado (61.27%); el alimento con más contenido de lípidos fue el alimento 60% pescado y 40% sorgo con un resultado (de 10.16%), mayor que los demás tratamientos. El contenido de lípidos varió entre 6.36% y 10.16 por ciento. El alimento 60% pescado y 40% sorgo presenta una composición proximal menor de ceniza, mientras el alimento 100% carne de lisa es mucho mayor. Se observa que el contenido de humedad es semejante a todos los alimentos, variando un poco el alimento 100% carne lisa con el más alto valor.

Resultados del experimento realizado con camarones

Las formulaciones de alimento para camarón que fueron evaluadas en este estudio se muestran en la tabla 3.

Tabla 3
Formulación de los alimentos para camarón

<i>Ingredientes</i>	<i>Cantidad adicionada</i>		
Pescado (%)	100	80	60
Harina de sorgo (%)	0	20	40
Vitaminas y minerales (oz)	0.1	0.1	0.1
Colesterol (g)	0.07	0.07	0.07
Concentrado proteico (%)	71.7	46.3	28.8
Cloruro de calcio (g)	0.03	0.03	0.03
Sal (g)	1.5	1.5	1.5
Óxido de cromo (g)	1.0	1.0	1.0
Agua (g)	0	40	80

Fuente: Pérez, 2007.

Las formulaciones probadas para cada grupo de camarones en los estudios de digestibilidad se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4
Formulaciones probadas para cada grupo

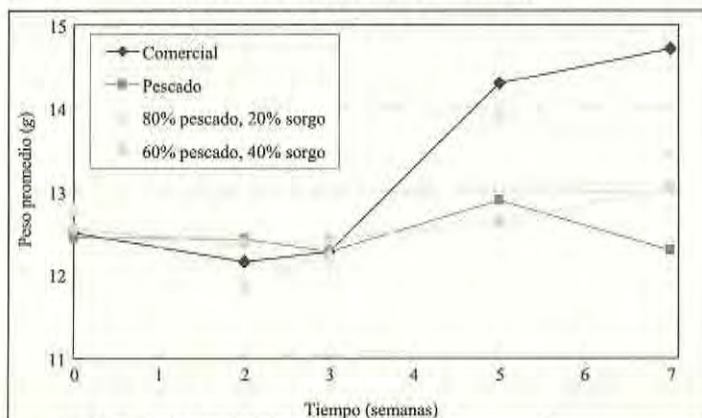
<i>Alimento</i>	<i>Grupo</i>	<i>Proteína (%)</i>
Comercial	A	35
Pescado	B	71
80% pescado; 20% sorgo	C	46.34
60% pescado; 40% sorgo	D	28.8

Fuente: Pérez, 2007.

Los alimentos se suministraron a los camarones por siete semanas, tiempo en el que se obtuvieron los resultados de crecimiento que se describen a continuación.

Como se observa en la figura 10 el crecimiento en general fue muy bajo para todos los grupos, pues los que crecieron más, sólo aumentaron cerca de 2 gramos en el periodo de estudio.

Figura 10
Crecimiento de los camarones

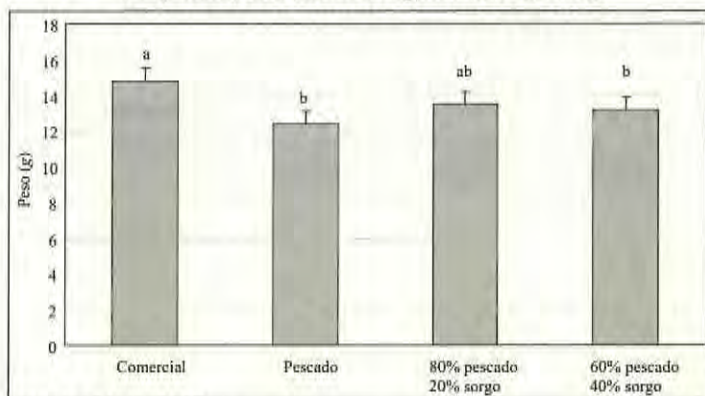


Fuente: Pérez, 2007.

Peso final

De acuerdo al análisis estadístico, se puede apreciar que el grupo alimentado con el producto comercial obtuvo el peso final más alto. No se observó diferencia significativa con el grupo C (80/20, pescado/sorgo). En la figura 11 se observa el peso final obtenido de los camarones.

Figura 11
Peso final obtenido después del estudio



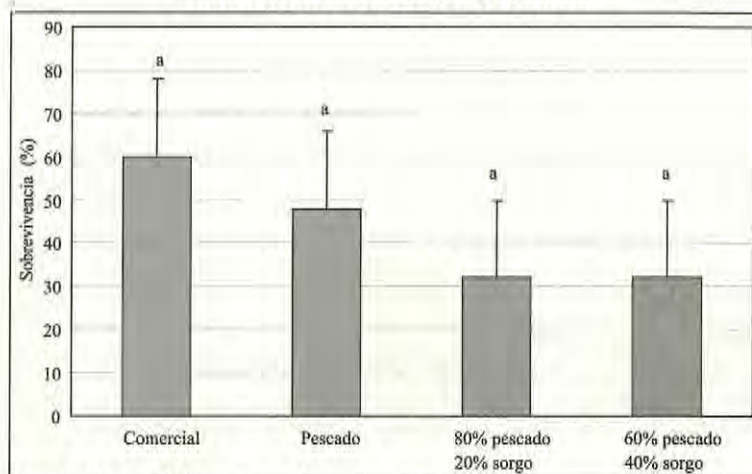
Fuente: Pérez, 2007.

Las letras *a* y *b* indican un análisis estadístico ($P < 0.5$).

Sobrevivencia

El reporte señala que en este rubro la tendencia fue baja y no hubo cambios significativos, sin embargo ésta fue de mayor sobrevivencia en el grupo A (alimento comercial). En la figura 12 se observa la supervivencia obtenida al final del estudio.

Figura 12
Sobrevivencia al final del estudio



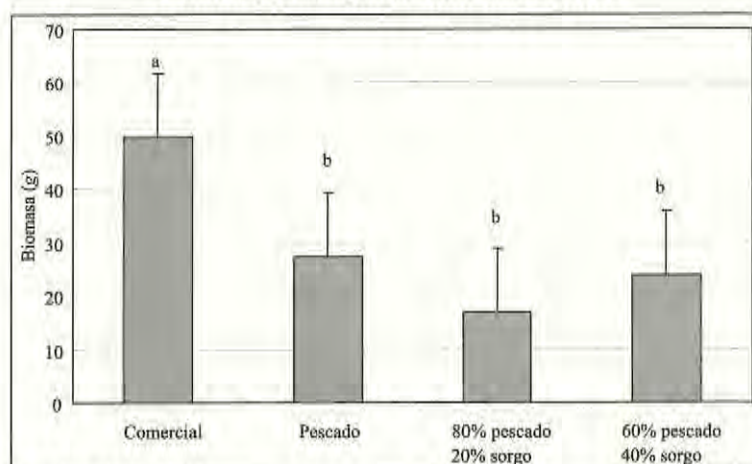
Fuente: Pérez, 2007.

La letra *a* indica un análisis estadístico ($P < 0.5$).

Biomasa final

En la figura 13 se observa la biomasa obtenida al final del estudio la cual mostró el valor más alto para el grupo alimentado con el producto comercial mostrando diferencias significativas según se muestra a continuación.

Figura 13
Biomasa obtenida al final del estudio



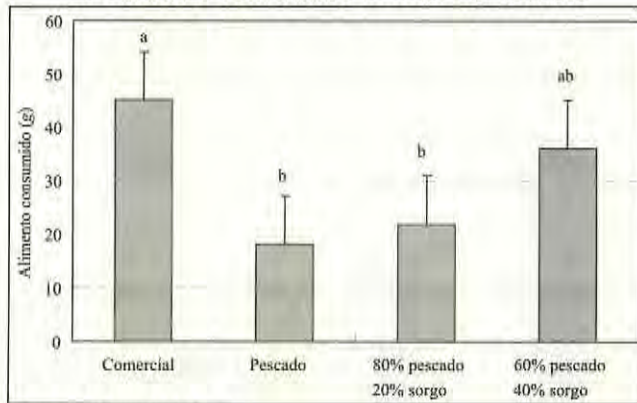
Fuente: Pérez, 2007.

Las letras *a* y *b* indican un análisis estadístico ($P < 0.5$).

Alimento total consumido

El alimento más consumido fue el comercial, seguido por el alimento *D* sin mostrar diferencias significativas entre éstos. En la figura 14 se muestra el alimento total consumido al final del estudio; se aprecia asimismo en la tendencia de consumo de alimento que progresaba a medida que aumentaba el sorgo presente, lo que indica que tal vez entre más sorgo había en el alimento, éste era comido más fácilmente debido quizás a que era menos duro. En estudios realizados por Cruz y otros (2002), el consumo de los alimentos se correlacionó con la capacidad de absorción de agua y en la dureza de los alimentos; el consumo fue mayor con alimentos blandos y con mayor capacidad de absorción de agua; el alimento más consumido fue el alimento control.

Figura 14
El alimento consumido al final del estudio



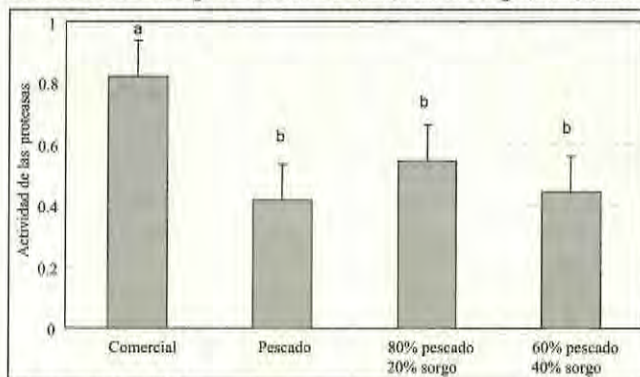
Fuente: Pérez, 2007.

Las letras *a* y *b* indican un grupo homogéneo obtenido de un análisis estadístico ($P < 0.5$).

Actividad de proteasas en la glándula digestiva de los camarones

Los resultados muestran que la actividad total tuvo un comportamiento similar al observado en crecimiento; los organismos del grupo A, son los que presentaron la mayor actividad. Las diferencias fueron significativas como se aprecia en la figura 15.

Figura 15
Actividad de las proteasas en el alimento para camarón



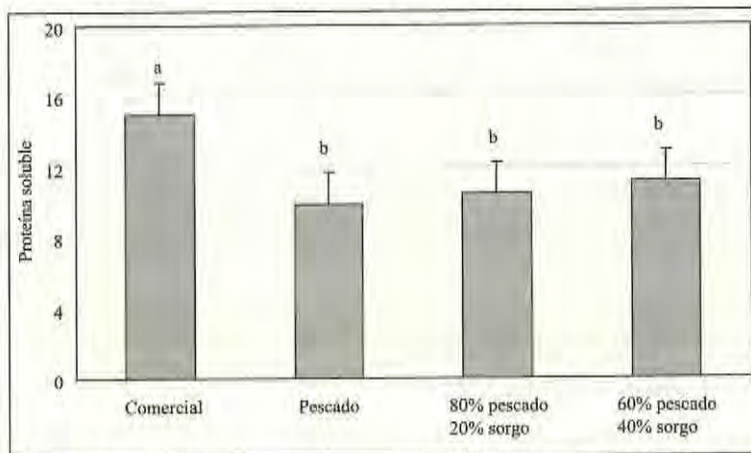
Fuente: Pérez, 2007.

Las letras *a* y *b* indican un grupo homogéneo obtenido de un análisis estadístico $P < 0.5$.

Proteína soluble

También se evaluó la proteína soluble presente en los extractos enzimáticos provenientes de los hepatopáncreas de los camarones, mostrando diferencias significativas y el valor más alto para aquellos que fueron alimentados con el producto comercial ($P < 0.05$). En la figura 16 se observa el total de proteína soluble del alimento para este crustáceo.

Figura 16
Proteínas solubles en el alimento para camarón



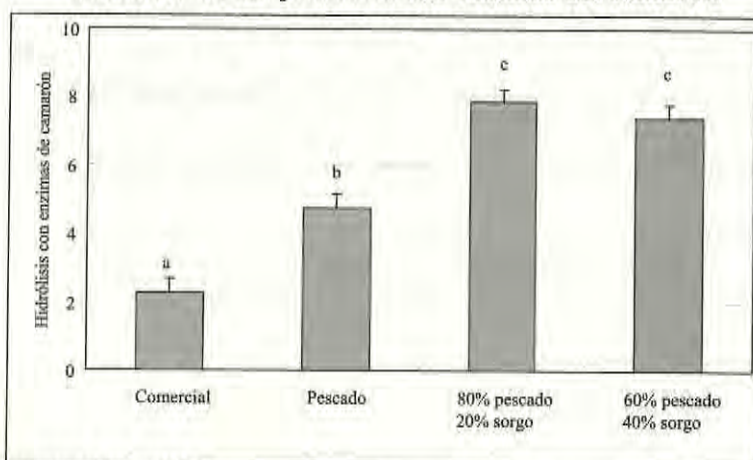
Fuente: Pérez, 2007.

Las letras *a* y *b* indican un grupo homogéneo obtenido de un análisis estadístico ($P < 0.5$).

Grado de hidrólisis (DH) obtenido con las enzimas de los camarones de cada tratamiento

Se realizó un ensayo utilizando enzimas comerciales para observar su comportamiento frente a los mismos alimentos utilizados con los camarones. Los resultados del ensayo realizado con enzimas de éstos mostraron la mayor digestibilidad para los alimentos *c* y *d*; la digestibilidad más baja para el alimento comercial. En la figura 17 se observa la hidrólisis de las proteínas con enzimas del camarón.

Figura 17
Hidrólisis de las proteínas con enzimas del camarón



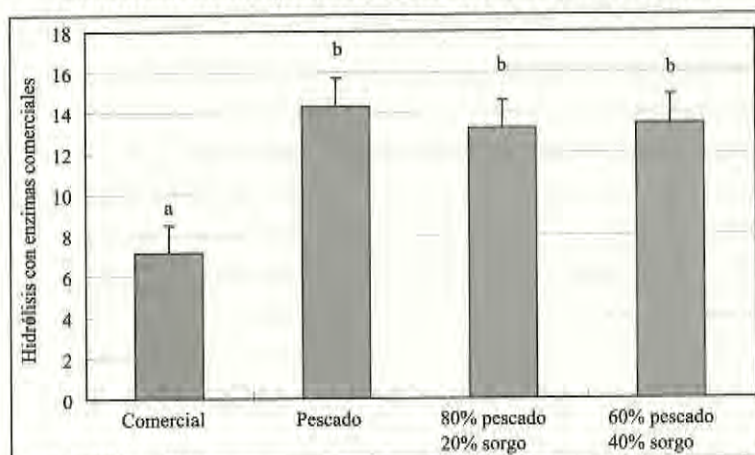
Fuente: Pérez, 2007.

Las letras *a*, *b* y *c* indican un grupo homogéneo obtenido de un análisis estadístico $P < 0.5$

Grado de hidrólisis (DH) obtenido con enzimas comerciales

El ensayo realizado con las enzimas comerciales mostró que este tipo de alimento tiene la digestibilidad (DH) más baja. En la figura 18 se observa la hidrólisis de las proteínas con enzimas comerciales. El grado de hidrólisis más alto fue para los alimentos *b*, *c* y *d* sin diferencias significativas entre ellos. Los resultados anteriores muestran que los camarones con mejor desempeño fueron aquellos que se alimentaron con el producto comercial; sin embargo los datos de digestibilidad *in vitro* muestran evidencias de que el alimento comercial era el menos digerible de todos, tanto para las enzimas de camarones como para las enzimas comerciales.

Figura 18
Hidrólisis de las proteínas con enzimas comerciales.



Fuente: Pérez, 2007.

Las letras *a* y *b* indican un grupo homogéneo obtenido de un análisis estadístico $P (<0.5)$

Conclusiones

Con los resultados antes expuestos se concluye que los alimentos experimentales tenían una buena calidad nutricia (reflejada en los datos de digestibilidad); sin embargo las características físicas de los mismos impidieron que los camarones lo aprovecharan, por lo que es recomendable hacer antes pruebas de estabilidad y de dureza a los alimentos para asegurar que éstos puedan estar disponibles a los crustáceos.

Por otra parte, ya se ha demostrado que los niveles de proteína en alimentos tradicionales para camarón oscilan entre 30 y 40%, es probable que con la técnica utilizada en la elaboración de estos alimentos, se pueda reducir aún más porcentaje de proteína de los mismos haciendo adecuadamente fórmulas balanceadas de acuerdo a las necesidades de los camarones.

Fuentes consultadas

- AOAC (1990), Official Methods of Analysis, Association of Official Analytical Chemists. 15th USA, Gaithersburg, AOAC Press.
- Bolívar, F. (2001), *Biotechnología moderna para el desarrollo de México. Siglo xx: retos y oportunidades*, México, SEP-Conacyt.
- Cruz-Suárez, L. E.; D. Ricque-Marie; M. Tapia-Salazar; L. F. Marín-Zaldivar; C. Guajardo-Barbosa; M. Nieto-López; A. Salinas-Miller (2002), "Historia y estatus actual de la digestibilidad y de algunas características fisicoquímicas de los alimentos comerciales para camarón: Nutrición Acuícola VI", *Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*, Cancún, México, marzo 11 de 2002.
- Escutia, S. (1996), "El alimento balanceado en México desde el punto de vista del acuicultor, Canaimpes", *Tercer Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*, Monterrey, N. L., aprobado el 11 al 13 de noviembre.
- Ezquerria-Brauer, J.M.; L. Bringas Alvarado; A. Burgos-Hernández; O. Rouzaud-Sández (2004), Control de la composición química y atributos de calidad de camarones cultivados. Avances en Nutrición Acuícola VII", *Memorias Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*, Hermosillo, México.
- INP (2000), *Sustentabilidad y pesca responsable en México: evaluación y manejo 1997-1998*, Semarnap-INP, 691 pp.
- Morales, O. G.; J. A. Ramírez; D. I. Vivanco; M. Vázquez (2001), "Surimi of Fish Species from the Gulf of Mexico: Evaluation of the Setting Phenomenon", *Food Chemistry*, núm. 75, pp. 43-48.
- Pérez Mayo, C. (2008), *Elaboración de un alimento para camarón con un alto valor nutricional adicionándole sorgo y reestructurado proteico de pescado*, tesis de Maestría en Ciencias y Tecnología de Alimentos. Universidad Autónoma de Tamaulipas, Reynosa, Tamaulipas, Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa Aztlán.

Extracción y caracterización de gelatina de piel de pescado

*Verónica Hernández Robledo
Guadalupe Martínez Tobias
Alfredo del Ángel del Ángel
Nubia Rocío Rodríguez Durán
José Alberto Ramírez de León
Gonzalo Velázquez de la Cruz*

Introducción

México se encuentra entre los primeros 20 países con mayor producción pesquera, con alrededor de 1.4 millones de toneladas anuales que significan 1.5% de la captura mundial. El sector pesquero aporta alrededor del 0.7% del PIB nacional y emplea cerca del 1.3% de la Población Económicamente Activa. En general, los recursos pesqueros no tienen un procesamiento que permita darles valor agregado y llevarlos a mercados de alto precio como lo hacen otros países sobre la base de especies similares.

La producción pesquera promedio en Tamaulipas es de 31 500 toneladas, con un valor de 721 millones de pesos. La pesca en la entidad se desarrolla principalmente en Tampico; aunque en los municipios de Guerrero, Miguel Alemán, Matamoros y San Fernando en la zona norte; así como en Soto la Marina en el centro, se generan altos volúmenes de producción. Las especies marinas extraídas son: corvina, huachinango, tambor, ostión, jaiba y camarón; también se filetean grandes cantidades de especies tales como trucha, besugo, lenguado, tilapia, carpa, lisa y ratón, cuyos

desperdicios no son aprovechados, además de que representan una fuente de contaminación.¹

En el Golfo de México la captura del camarón ocasiona pérdidas considerables de especies que conforman la fauna de acompañamiento, influenciada principalmente por su tamaño pequeño, diversidad, especies no comerciales, especies no deseables y la ausencia de procesos de comercialización.

La gelatina es un importante biopolímero gelificante industrial, normalmente derivado de res o de cerdo (Choi y Regenstein, 2000). Obtenido por un proceso ácido-básico mediante la degradación hidrolítica del colágeno, el componente principal del tejido fino conectivo animal (Giménez y otros 2004). La gelatina es una proteína de alto valor, baja en calorías, libre de colesterol y de azúcar y prácticamente no contiene materia grasa. Es fácil de digerir y el organismo humano la descompone completamente. No existen reportes de potencial alergénico.² La producción de gelatina de pescado es una alternativa para el aprovechamiento comercial de la piel y huesos que se desechan normalmente. La extracción de gelatina de pescado ha sido reportada a partir de bacalao, tilapia, piel de tiburón y piel de carpa (Jamilah y Harvinder, 2002). La gelatina tiene una gran variedad de aplicaciones en la industria fotográfica, farmacéutica y principalmente en el sector alimenticio debido a que puede ser utilizado como un ingrediente para realzar la elasticidad, la consistencia y la estabilidad de los productos alimenticios (Cho y otros, 2005).

Materiales y métodos

Materia prima

Se utilizó piel de besugo (*Aplodinotus grunniens*) que se adquirió directamente con los pescadores establecidos en la presa Marte R. Gómez, municipio de Miguel Alemán, y piel de trucha (*Cynoscion nebulosus*) obtenida directamente con los pescadores del poblado El Mezquitil, en Matamoros, Tamaulipas. La piel se transportó en hielo molido a las instalaciones del laboratorio, se cortó en trozos de aproximadamente 3 x 3 cm, se lavó con agua corriente y se almacenó a -20 °C en bolsas de polietileno hasta su uso.

¹ Disponible en www.tamaulipas.gob consultado en febrero de 2008.

² Disponible en www.gelatine.org; consultado en febrero de 2008.

Obtención de la gelatina

La gelatina se obtuvo mediante una modificación del método descrito por Kolodziejska y otros (2004) el cual se muestra en forma de diagrama de flujo en la figura 1; en tanto, la figura 2 se muestra la metodología establecida en el presente trabajo. A continuación se describen cada una de las etapas que se siguieron durante la obtención y extracción de la gelatina.

Pretratamiento de la piel

La piel se enjuagó con agua destilada (1:1) y se sometió a un pretratamiento ácido-básico. Se mezcló con una solución de hidróxido de sodio al 5% en proporción (1:1, piel: solución); se agitó suavemente por 3 *min* y se dejó reposar durante 15 *min* más. Posteriormente se drenó la mezcla con malla de plástico de 0.5 *mm* de diámetro y se agregó ácido acético al 5% (1:1, piel: solución). La mezcla se agitó por 3 *min* y se dejó reposar durante 15 *min* más. Ambos procesos se realizaron a temperatura ambiente. La piel fue drenada antes de someterse al proceso de extracción con cloruro de sodio.

Extracción de la gelatina

A la piel tratada se le adicionó una solución de cloruro de sodio 0.8 M (1:1, piel: solución) a 0 °C por 3 *min*. Esta operación se repitió en cuatro ocasiones. La piel se drenó después de cada lavado con malla de plástico de 0.5 *mm* de diámetro. Posteriormente la piel se mezcló con agua (10 g piel / 8 *ml* agua destilada) y se mantuvo a 45 °C por 30 *min*, con agitación constante. El agua se drenó y posteriormente se repitió la operación. Por último la piel se sometió a baño María a 60 °C por 90 *min* con agitación constante. Se agregó agua destilada a una relación de 10 g piel/8 *ml* agua (primer lavado). Esta operación se repitió dos veces con una proporción de 10 g piel/ 15 *ml* agua a la misma temperatura.

Filtrado y purificado

La gelatina obtenida del primer lavado se filtró con malla de plástico de 0.5 *mm* de diámetro y enseguida con tela de fibra de algodón para eliminar residuos de piel. En

el proceso de purificado se utilizaron clarificantes en el siguiente orden: 10 g de tierra de diatomeas, después con 15 g de carbón activado (dos veces) y finalmente con 10 g de tierra de diatomeas por litro de solución de gelatina a 60 °C.

Liofilizado

La gelatina se congeló en cajas petri a -20 °C antes de colocarse en un liofilizador Freezer Whirlpool Corporation (Ultra Dry Modelo EV040FXDW; MN, Estados Unidos) incrementando la temperatura cada dos horas hasta alcanzar -2 °C y se mantuvo por 96 horas en estas condiciones.

Secado en estufa

La gelatina se secó en cajas petri a 50 °C por 24 horas con corriente de aire forzado (20 m/s) en una estufa (BINDER Mod. 9010-0021; Tuttlingen, Alemania). La gelatina deshidratada en estufa y posteriormente liofilizada se molió en una licuadora (Osterizer, 12 velocidades, modelo 6663) por 3 *min* y las muestras se almacenaron en tubos de polietileno a temperatura ambiente.

Análisis proximales

Se determinaron por triplicado los análisis de proteína, grasa, humedad y ceniza siguiendo el método de la AOAC.

Obtención de geles

Los geles se elaboraron con gelatina comercial; gelatina deshidratada en estufa; gelatina liofilizada y gelatina fresca. Los geles se prepararon como soluciones conteniendo 4% de sólidos totales. Las gelatinas se disolvieron a 45 °C y se vertieron en tubos comerciales de cloruro de polivinilo (PVC) de 2.3 *cm* de diámetro interno y 12 *cm* de longitud previamente lubricados con aceite comercial. Los tubos se taparon y se enfriaron a 5 °C por 24 horas para la maduración de los geles. Posteriormente éstos se desmoldaron con un émbolo y se cortaron en muestras de 2.5 *cm* de longitud y se almacenaron en bolsas de polietileno cerradas para evitar deshidratación.

Color

Esta prueba se realizó con un colorímetro Mini Scan XE Plus (Hunter assoc., Reston, VA. Estados Unidos), calibrado con el mosaico blanco y el negro, utilizando un iluminante C y un observador de 2°. Se determinaron los parámetros L , a^* y b^* . Los geles se colocaron en la base del equipo, se tomaron seis repeticiones de cada tipo de gel (de gelatina comercial, de gelatina deshidratada, de gelatina liofilizada y gelatina fresca), con los parámetros obtenidos de L , a^* y b^* y se calcularon los valores de croma (C) y matiz (H), de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$C = \sqrt{(a^2 + b^2)}$$

$$H = \text{Grados (ATAN } b^*/a^*)$$

Análisis del perfil de textura (TPA)

Los geles se cortaron a una altura de 20 ± 1 mm de altura y se conservaron en una bolsa de plástico para evitar su deshidratación; se depositaron en un plato que descansaba sobre una cama de hielo para mantener su temperatura homogénea y constante durante el análisis.

El análisis de perfil de textura se realizó con el texturómetro TA.XT2i (Stable MicroSystems, Viena Court, Inglaterra). Se utilizó la sonda cilíndrica de aluminio (P50) de 50 mm de diámetro, con una velocidad de cabezal de 60 mm/min, con doble compresión al 75 por ciento. Se determinaron los parámetros de fracturabilidad (fuerza necesaria para fracturar el gel): dureza (máxima fuerza durante la primera compresión); cohesividad (relación existente entre la áreas de compresión bajo la curva: área 2/área 1); resortividad relación existente entre altura final/altura inicial); masticabilidad (producto de la multiplicación de dureza, cohesividad y resortividad). Se realizaron seis repeticiones para cada tipo de gel de gelatina.

Análisis estadístico

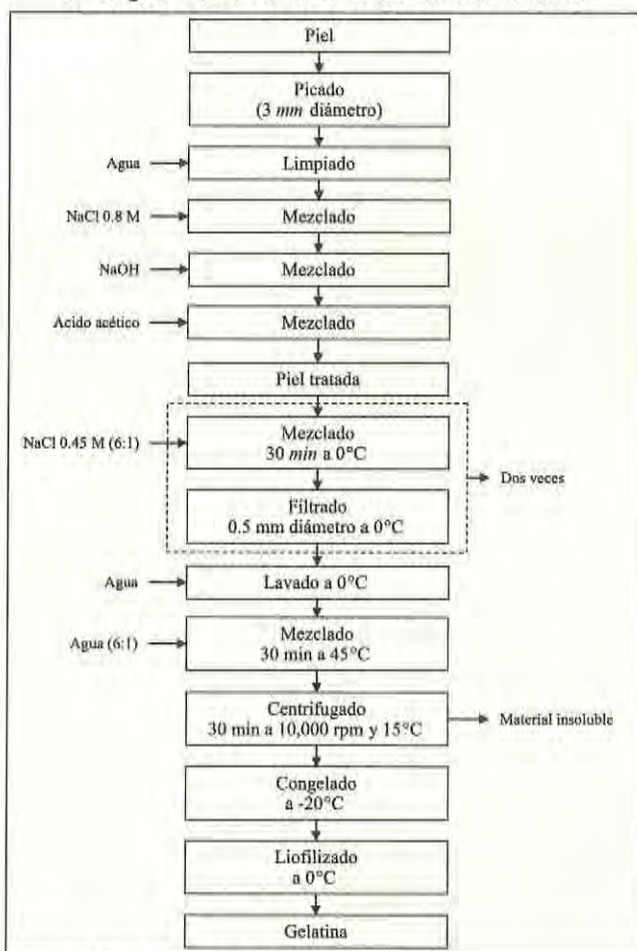
Los resultados obtenidos se analizaron con el programa estadístico Statgraphics 5.1 (Software Publishing Coporation, Bitstram Inc.), para establecer una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos (gelatina comercial, gelatina deshidratada, gelatina liofilizada y gelatina fresca). Se aplicó un análisis de varianza para la determinación de diferencias entre medias por aplicación del método de diferencia de mínimos cuadrados (LSD) con un valor de $P \leq 0.05$.

Resultados

Optimización del método de extracción de gelatina

La optimización del método utilizado en este estudio se basó en el reporte de Kolodziejska y otros (2004), el cual se muestra en la figura 1.

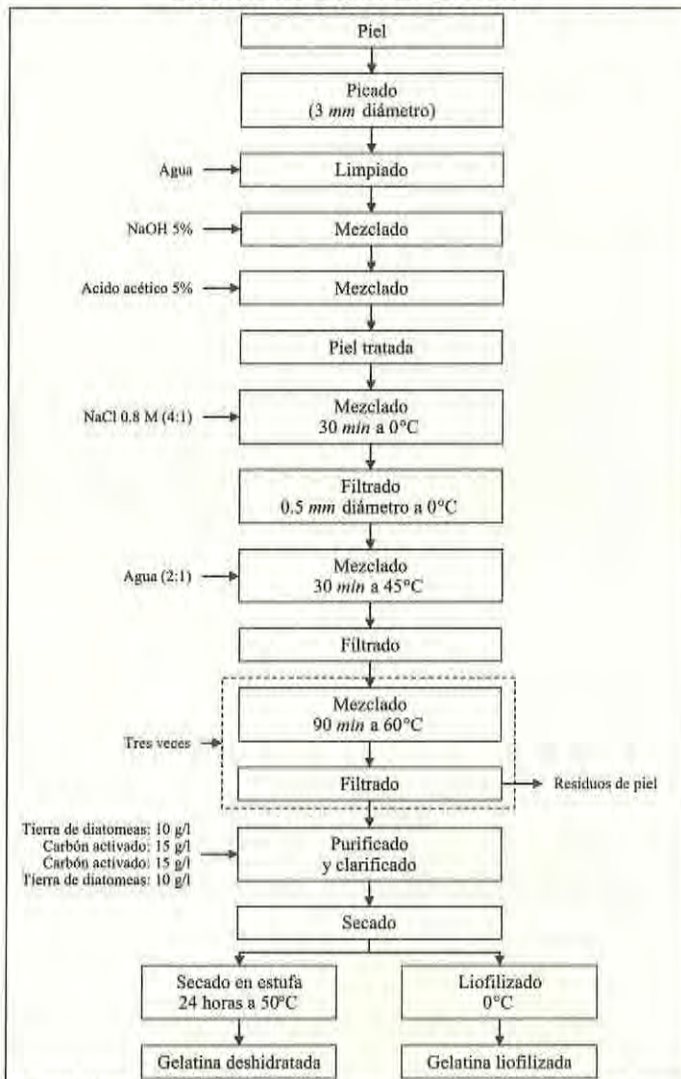
Figura 1
Técnica de extracción de gelatina a partir
de la piel de bacalao común *Gadus morhua*



Fuente: Kolodziejska y otros (2004).

La técnica se modificó para permitir la extracción de gelatina a partir de las especies del Golfo de México. Los cambios realizados se muestran en la figura 2.

Figura 2
Técnica modificada para la extracción de gelatina a partir de la piel de pescado



Fuente: Hernández, 2006.

Con respecto a la técnica utilizada como referencia, se realizaron los siguientes cambios:

1. Las soluciones utilizadas para el pretratamiento de la piel (hidróxido de sodio y ácido acético) se prepararon al 5 por ciento.
2. Se eliminó el primer ciclo de lavados con cloruro de sodio al 0.8 *M*.
3. En el segundo ciclo de lavados con cloruro de sodio a 0 °C por 3 *min*, la concentración salina se cambió de 0.45 a 0.8 *M*, se realizaron cuatro y no seis repeticiones como indicaba la técnica, lo que permite ahorrar agua y tiempo de proceso.
4. Se eliminaron también los lavados posteriores con agua a 0 °C.
5. Para la extracción de la gelatina se agregó un ciclo de lavado con agua a 60 °C por 90 *min*.

La solución de gelatina obtenida presentó turbidez, coloración excesiva y olor a pescado, por lo que fue necesaria una clarificación. En este estudio se probaron bentonita, PVP (polivinilpirrolidona), tierra de diatomeas y carbón activado a distintas concentraciones y en diferente orden de aplicación. El método seleccionado consistió en aplicar tierra de diatomeas por clarificar o precipitar en menos tiempo las sustancias indeseables, combinado con una posterior aplicación de carbón activado para la eliminación del olor de la gelatina. Para conservar la gelatina se probaron dos métodos de secado: deshidratado en estufa a 50 °C por 24 horas y liofilización por 96 horas a -2 °C.

Rendimiento de la gelatina

En la tabla 1 se muestra el rendimiento obtenido en los lavados con agua a 60 °C durante la última etapa que permite la extracción de la gelatina en forma de licor. El rendimiento fue de 55.13 *g/kg* (5.51%) para la gelatina de trucha y de 73.48 *g/kg* (7.34%) de los tres lavados de la piel, con la adición de 3.8 *L* de agua. Estos rendimientos son similares a los reportados en la bibliografía consultada.

Tabla 1
Rendimientos de la etapa de extracción de gelatina.
Datos basados en 1 kg de piel

<i>Componente</i>	<i>Lavado 1</i>	<i>Lavado 2</i>	<i>Lavado 3</i>	<i>Total</i>
Agua agregada (l/kg)	0.8	1.5	1.5	3.8
Solución de gelatina (l) trucha	0.445	1.481	1.256	3.182
Solución de gelatina (l) besugo	0.543	1.311	1.077	2.931
Sólidos (%) Trucha	4.27	1.60	0.99	6.86
Sólidos (%) Besugo	6.12	2.4	0.82	9.34
Gelatina (g) Trucha	19	23.70	12.43	55.13
Gelatina (g) Besugo	33.26	31.42	8.80	73.48

Fuente: Hernández, 2006.

Rendimiento de gelatina deshidratada

Se trabajó con la solución de gelatina obtenida durante el primer proceso de extracción a 60 °C. Los rendimientos obtenidos se muestran en la tabla 2. El método de secado en estufa afectó el rendimiento entre especies, en tanto que por el método de liofilizado hubo ligera diferencia.

El rendimiento total obtenido de gelatina de la piel del besugo fue de 6.12%, en tanto que para la piel de trucha el rendimiento fue de 4.27% considerando el peso inicial de la piel. Estos rendimientos coinciden con los reportados por Jamilah y Harvinder (2002) para tilapia (5.39%). En tanto que Cheow y otros (2006) reportaron un rendimiento de 14.3% y 7.5% para curvina china y macarela alicorta respectivamente y Grossman y Bergman (1992) reportaron un rendimiento del 15% para piel de tilapia.

La diferencia en la extracción de gelatina de la piel de trucha y de besugo reportado en este estudio con los valores encontrados en la literatura se puede adjudicar a diferentes factores, incluyendo la composición o características fisicoquímicas de la piel. También pudo deberse a la diferencia en su tratamiento, ya que Gudmundsson y Hafsteinsson (1997) realizaron una extracción con ácido sulfúrico seguida de una extracción con ácido cítrico al 1 por ciento. El proceso de optimización de la gelatina desarrollado en el presente trabajo tiene dos pasos importantes; el primero es el tratamiento con hidróxido de sodio y el segundo la extracción con agua caliente. El tratamiento ácido remueve las proteínas no colágenas. La extracción con agua

caliente produce una solubilización de la gelatina por una hidrólisis térmica. Esto implica que otra posible razón en la diferencia de rendimientos de la gelatina a partir de la piel de trucha y de besugo puede ser por una insuficiente desnaturalización de las proteínas del colágeno durante la extracción.

En cuanto al aspecto físico, se presentaron cambios en la apariencia (figura 3). La gelatina deshidratada de trucha y de besugo se presenta como polvo, en cambio la gelatina de besugo liofilizada fue más clara en comparación con la gelatina liofilizada; de trucha; esta última fue granulosa y menos clara que la deshidratada en estufa. La diferencia en color podría estar asociada a la preservación de los pigmentos durante la liofilización. Comercialmente se prefiere una gelatina poco pigmentada.

Tabla 2
Rendimiento durante el secado de la gelatina
(basado en 1 / del primer licor de extracción de gelatina)

<i>Método</i>	<i>Peso (g)</i>
Secado en estufa (trucha) ¹	44.5
Secado en estufa (besugo) ²	66
Liofilizado (trucha) ¹	38.92
Liofilizado (besugo) ²	43.2

¹ Fuente: Hernández, 2006.

² Fuente: Martínez, 2006.

Figura 3
Aspecto de la gelatina deshidratada de trucha
(a) secada en estufa (b) liofilizada y (c) gelatina fresca



Fuente: Hernández, 2006.

Análisis proximal

En la tabla 3 se muestra la composición química de la gelatina extraída de la piel de trucha y de besugo, por el método modificado y su comparación con gelatinas extraídas de otras especies. La gelatina de piel de besugo presentó mayor contenido proteico que la gelatina de trucha, la gelatina extraída de curvina china (Cho y otros, 2006), y la gelatina de macarela alicorta (Cheow y otros, 2006) pero menor al encontrado en la gelatina de mantarraya (Cheow y otros, 2006) y en la gelatina de perca del nilo (Muyonga y otros, 2003). Sin embargo, las diferencias observadas podrían estar asociadas con el distinto contenido de sólidos reportado para las especies.

Se observó un alto contenido de humedad, cenizas y grasa, con un menor contenido de proteína para la gelatina de trucha, comparado con las demás especies; el alto contenido de ceniza quizá se deba a residuos sólidos que permanecen después del filtrado con la tierra de diatomeas, así como también un elevado contenido de sal en la gelatina. Es necesario adecuar el proceso para mejorar la composición final del producto reduciendo el contenido de cenizas y humedad e incrementando la concentración proteica.

Tabla 3
Composición proximal de la gelatina de trucha. Valores entre paréntesis muestran la desviación estándar de muestras por triplicado

<i>Especie</i>	<i>Humedad (%)</i>	<i>Proteína (%)</i>	<i>Grasa (%)</i>	<i>Ceniza (%)</i>	<i>Total (%)</i>
Trucha (<i>Cynoscion nebulosus</i>)	21.99	60.41	3.81	13.78	99.9
Besugo (<i>Aplodinotus grunniens</i>)	14.68	77.96	0.4	5.87	98.91
Perca del Nilo ¹ (<i>Lates niloticus</i>)(joven)	11.5 (0.1)	87.4 (5.6)	0.0 (0.0)	0.8 (0.2)	99.7
Perca del Nilo ¹ (<i>Lates niloticus</i>)(adulto)	10.7 (1.1)	88.7 (2.4)	0.2 (0.0)	0.5 (0.1)	100.1
Mantarraya ² (<i>Raja kenoi</i>)	4.52 (0.18)	92.31 (0.33)	0.35 (0.09)	1.42 (0.19)	98.6
Curvina china ³ (<i>Johnius dussumieri</i>)	7.71 (0.04)	69.2 (0.13)	0.11 (0.01)	1.49 (0.15)	78.51
Macarela alicorta ³ (<i>Decapterus macrosoma</i>)	11.3 (0.42)	68.7 (0.15)	0.22 (0.02)	1.15 (0.13)	81.37

¹Muyonga y col., 2003; ²Cho y col., 2006; ³Cheow y otros, 2006.

Color de la gelatina

Los atributos de color de la gelatina de trucha y gelatina comercial en polvo, se compararon con los valores de gelatina extraída de diferentes especies (Tabla 4). Los valores varían de acuerdo con la especie de la cual fueron extraídos. La gelatina obtenida de trucha liofilizada y deshidratada en estufa, presentó un valor de L inferior al de la gelatina comercial. Sin embargo los parámetros de a^* (rojo-verde) y de b^* (amarillo-azul), fueron parecidos. Esto se reflejó en un matiz (H) y croma (C) similares. La gelatina de macarela alicorta extraída por Cheow y otros (2006) presentó atributos de color parecidos a los de la gelatina comercial y a los de trucha.

Tabla 4
Comparación de atributos y parámetros de color de la gelatina de trucha con otras gelatinas de varias especies

Tipo de gelatina	L	a^*	b^*	C	H
Trucha deshidratada	65.92 (0.97)	3.27 (0.30)	24.16 (0.62)	24.38 (0.64)	82.30 (0.60)
Trucha liofilizada	65.51 (0.80)	1.49 (0.30)	17.18 (1.16)	17.25 (1.18)	85.05 (0.80)
Comercial	80.99 (0.55)	0.19 (0.12)	30.38 (0.43)	30.38 (0.43)	89.63 (0.23)
Tilapia roja (<i>Lates niloticus</i>) ¹	92.35 (0.77)	-0.47 (0.14)	2.30 (0.51)	2.34	281.6
Tilapia negra (<i>Lates niloticus</i>) ¹	93.32 (1.70)	-0.56 (0.07)	3.09 (0.37)	3.14	280.28
Mantarraya (<i>Raja kenoei</i>) ²	42.12	0.82	2.82	2.93	73.78
Macarela alicorta (<i>Decapterus macrosoma</i>) ³	89.33	3.16	18.11	18.38	80.10

¹Jamilah y otros, 2002; ²Cho otros, 2006; ³Cheow otros, 2006.

Nota: Valores entre paréntesis muestran la desviación estándar de muestras por triplicado.

En la figura 4 se muestran los valores del atributo de color luminosidad L de los geles estudiados, así como las propiedades de a^* (cambios verde-rojo) y b^* (amarillo-azul). La gelatina comercial mostró un valor significativamente más alto de L (48.3), que la muestra de gelatina extraída de besugo (43.6). El método de secado no afectó significativamente este parámetro. Los valores obtenidos de la gelatina comercial

y de besugo fueron inferiores a los reportados para curvina china y macarela alicorta (91.6 y 89.3 respectivamente), reportados por Cheow y otros (2006) y para tilapia roja y tilapia negra (92.4 y 93.3 respectivamente), reportados por Jamilah y Harvinder (2002); sin embargo coinciden con los reportados por Cho y otros (2006) en mantarraya (42.1).

El parámetro de color a^* en el gel comercial presentó una media de $-0.96 (\pm 0.09)$, diferente al gel fresco $0.32 (\pm 0.18)$. La liofilización no afectó este parámetro, en tanto que el secado en estufa lo cambió ligeramente. Cheow y otros (2006) reportaron valores de 2.44 y 3.16 para este parámetro, en gelatina de curvina china y macarela alicorta, respectivamente. Cho y otros (2006) reportaron 0.82 en gelatina de mantarraya; en tanto, Jamilah y Harvinder (2002) reportaron parámetros de -0.47 y -0.56 en gelatina de tilapia roja y tilapia negra, respectivamente.

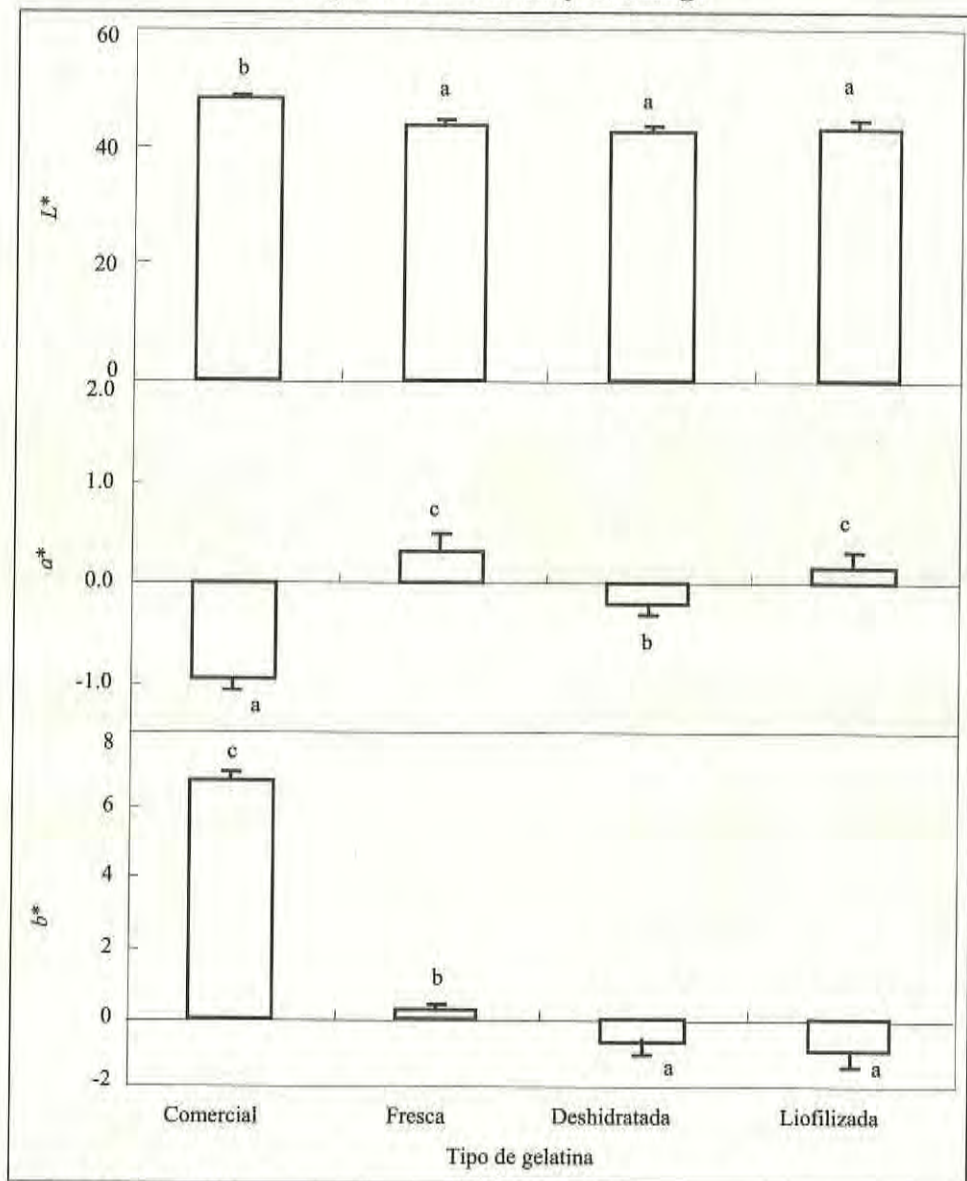
El gel comercial presentó un parámetro b^* de $6.7 (\pm 0.3)$ significativamente mayor al valor de b^* fresco. El secado en aire y liofilizado modificaron este parámetro referente al producto fresco, pero no existió diferencia por el método de secado. Cho y otros (2006) reportaron un parámetro b^* en mantarraya de 2.82. Cheow y otros (2006) reportaron en gelatina de curvina china y macarela alicorta 13.65 y 18.11. Jamilah y Harvinder (2002) reportaron valores de b^* en gelatinas de tilapia roja y tilapia negra de 2.30 y 3.09 respectivamente. Los geles obtenidos de gelatina comercial mostraron un valor más alto de croma C (6.8 ± 0.2) comparada con el gel fresco de besugo. El método de secado en estufa no afectó este parámetro, pero el liofilizado lo incrementó ligeramente.

El matiz (H , matiz) del gel comercial fue de 93.6, lo que le da un color amarillo, en tanto que el gel de gelatina de besugo presentó un valor de 35.9, lo que corresponde a un tono anaranjado. El secado en estufa y por liofilización modificó este parámetro, los geles valores de 250 a 280, lo que significa que los geles presentaban una coloración azulosa (figura 5). Aunque los valores de matiz (H) señalan que las gelatinas mostraron diferente color, los bajos valores de croma (C) hacen que estos cambios sean poco perceptibles, ya que se aprecian como matices grisáceos (figura 5).

Análisis del perfil de textura

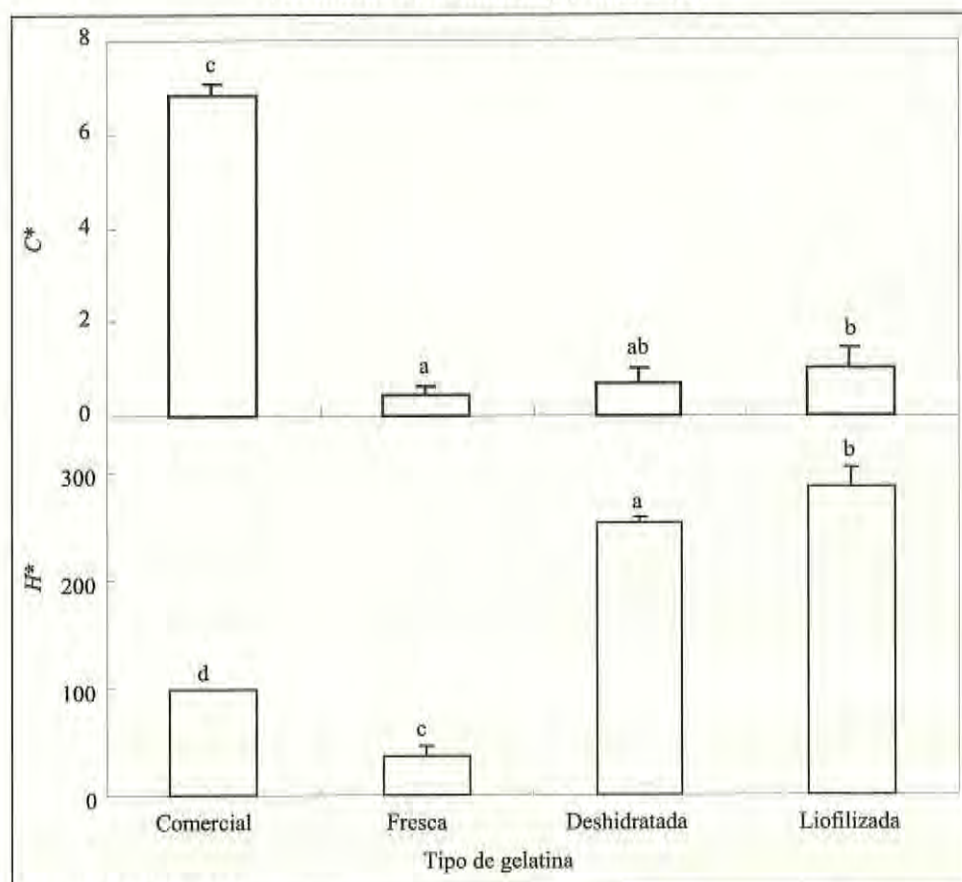
La textura se considera una forma de representación de las propiedades reológicas de los alimentos, las cuales representan un atributo importante en la calidad de aquellos. En este estudio se analizó la fuerza de geles de gelatina fresca, secada por aire y liofilizada a una concentración de sólidos al 4% utilizando como referencia gelatina comercial.

Figura 4
Parámetros de color L , a^* y b^* en geles de gelatina comercial y de besugo



Fuente: Martínez, 2006.

Figura 5
Atributos de croma (C^*) y matiz (H^*)



Fuente: Martínez, 2006.

Se utilizó el análisis del perfil de textura (TPA), considerado como una prueba empírica, correlacionada con la evaluación sensorial subjetiva de la textura. Al ser una prueba empírica, los valores que se obtienen dependen de las características de la muestra: tamaño, figura geométrica, parámetros de análisis y temperatura de los geles, por lo que todos estos parámetros fueron considerados en el presente estudio.

Los resultados obtenidos del TPA se muestran en la tabla 5. La dureza varió de 1.229 a 3.13 kg, encontrándose diferencia significativa en este atributo entre los siete geles analizados. La fracturabilidad varió de 1.284 a 3.13 kg. Los geles de trucha y

de gelatina comercial presentaron un valor similar de fracturabilidad. Este parámetro no se afectó por el secado en estufa y mostró una ligera mejoría durante el secado por liofilización. Los geles mostraron un valor muy bajo de cohesividad y no se encontró diferencia significativa entre muestras. La gelatina de trucha mostró valores similares de masticabilidad y resortividad comparada con los valores de la gelatina comercial. Ambos atributos incrementaron por el secado en estufa.

El gel fresco de gelatina de besugo presentó un valor de dureza mayor que la gelatina comercial. Este parámetro no fue afectado por el secado en estufa, pero disminuyó parcialmente en la muestra liofilizada. Esto podría deberse al fenómeno de colapso, asociado con una inadecuada descongelación de la muestra durante el liofilizado.

La cohesividad fue muy baja en todas las gelatinas estudiadas (tabla 5). Sin embargo la gelatina comercial presentó una cohesividad mayor que la de besugo. El método de secado no mostró un efecto significativo en este parámetro de textura.

Los geles mostraron una resortividad en el rango de 0.4 a 0.6 y no presentaron diferencia significativa entre ellos. La masticabilidad tampoco mostró diferencia significativa entre tratamientos, y sus valores fueron muy bajos, es decir, menores a 0.15 kg.

Los resultados obtenidos de esta prueba señalan que la gelatina extraída de besugo presenta características similar o superior a los valores de textura de la gelatina comercial. El método de secado en estufa no afectó las propiedades de textura de la gelatina de besugo y el liofilizado no ofreció beneficios sobre el método de secado en estufa.

Tabla 5
Efecto del método de secado en los parámetros del análisis
de perfil de textura de los geles de gelatina
de trucha al 4% de sólidos totales

<i>Tratamiento</i>	<i>Dureza (kg)</i>	<i>Fracturabilidad (kg)</i>	<i>Cohesividad</i>	<i>Masticabilidad (kg)</i>	<i>Resortividad</i>
Comercial	1.238 a (0.56)	1.284 a (0.46)	0.086 a (0.04)	0.036 a (0.01)	0.423 a (0.10)
Trucha (fresca) ¹	1.229 a (0.52)	1.318 a (0.41)	0.075 a (0.03)	0.040 a (0.01)	0.516 a (0.13)
Besugo (fresca) ²	2.705b (0.60)	2.705b (0.60)	0.07a (0.03)	0.09a,b (0.03)	0.48a (0.08)

Trucha (estufa) ¹	1.681 a (0.38)	1.831 a, b (0.32)	0.081 a (0.03)	0.104 b (0.04)	0.795 b (0.09)
Besugo (estufa) ²	3.13b (0.06)	3.13b (0.06)	0.06a (0.01)	0.10b (0.01)	0.51a (0.06)
Trucha (lío­filizada) ¹	2.074 a (0.70)	2.139 b (0.65)	0.057 a (0.02)	0.051 a (0.01)	0.468 a (0.06)
Besugo (lío­filizada) ²	1.64a (0.51)	1.64a (0.51)	0.08a (0.02)	0.05a (0.00)	0.47a (0.02)

Hernández,¹ 2006; Martínez,² 2006.

Las letras *a*, *b*, *c*. indican diferencia significativa ($P < 0.05$) entre tratamientos.

Conclusiones

El método desarrollado para obtener gelatina de piel de pescado permitió conseguir un producto con características de color y textura similares a la de una gelatina de pescado comercial. Estos resultados indican que es viable el aprovechamiento comercial de la piel de pescado, misma que actualmente se desperdicia. Aunque no se realizó una evaluación sensorial formal, los resultados observados durante la presentación de la gelatina con colorantes y saborizantes artificiales indican que este producto tiene potencial para su uso comercial.

Fuentes consultadas

- Cheow, C. S.; M. S. Norias; Z. Y. Kyaw y N. K. Howell (2006), "Preparation and Characterization of Gelatins from the Skins of sin Croaker (*Johnius dussumieri*) and Shortfin Scad (*Decapterus macrosoma*)", *Food Chemistry*, núm. 101, pp. 386-391.
- Cho, S. M.; Y. S. Gu y S. B. Kim (2005), "Extracting Optimization and Physical Properties of Yellowfin Tuna (*Thunnus albacares*) Skin Gelatin Compared to Mammalian Gelatins", *Food Hydrocolloids*, núm. 19, pp. 221-229.
- Cho, S.; M. L. Jahncke; K. Chin y J. Eun (2006), "The Effect of Processing Conditions on the Properties of Gelatin From Skate (*Raja kenoei*) Skins", *Food Hydrocolloids*, núm. 20, pp. 810-816.
- Choi, S. S. y J. M. Regenstein (2000), "Physicochemical and Sensory Characteristics of Fish Gelatin", *Journal of Food Science*, vol. 65, núm. 2, pp. 194-199.

- Giménez, B., M. C. Gómez Guillén y P. Montero (2004), "The Role of Salt Washing of Fish Skins in Chemical and Rheological Properties of Gelatin Extracted", *Food Hydrocolloids*, núm. 19, pp. 951-957.
- Grossman, S., y M. Bergman (1992), "Process for the Production of Gelatin From Fish skins, USA patent, núm. 5, pp. 093-474.
- Gudmundsson, M. y H. Hafsteinsson (1997), Gelatin from Cod Skins as Affected by Chemical Treatments, *Journal of Food Science*, núm. 62, vol. 1, pp. 37-39, y 47.
- Hernández Robledo, V. (2006), "Optimización del proceso de extracción y caracterización de gelatina de piel de trucha (*Cynoscion nebulosus*). Tesis de Ingeniería Bioquímica Industrial, Universidad Autónoma de Tamaulipas, México.
- Jamilah, B. y K. G. Harvinder (2002), "Properties of Gelatins From Skins Of Fish Black Tilapia (*Oreochromis Mossambicus*) And Red Tilapia (*Oreochromis nilotica*)", *Food Chemistry*, núm. 77, pp. 81-84.
- Kolodziejska, I.; K. Kaczorowski; B. Piotrowska y M. Sadowska (2004), "Modification of the Properties of Gelatine from Skins of Baltic Cod (*Gadus morhua*) with Transglutaminase", *Food Chemistry*, núm. 86, pp. 203-209.
- Martínez Tobías, G. (2006), *Optimización del proceso de extracción y caracterización de gelatina de piel de besugo (Aplodinotus Grunniens)*, tesis de Ingeniería Bioquímica Industrial, Universidad Autónoma de Tamaulipas, México.
- Muyonga, J. H.; C. G. B. Cole y K. G. Duodu (2003.), "Extraction and Physico-Chemical Characterisation of Nile Perch (*Lates niloticus*) Skin and Bone Gelatin", *Food Hydrocolloids*, núm. 18, pp. 581-592.

Aprovechamiento de recursos pesqueros
se terminó de imprimir en agosto de 2011
en los talleres de Impresos Rometa,
Cuauhtémoc número 290, colonia Aldana,
delegación Azcapotzalco. C.P. 02910, México, D.F.
El tiraje consta de 1 000 ejemplares.

Tamaulipas ocupa el tercer lugar nacional en la captura de camarón, con un volumen promedio cercano a las 15,000 toneladas anuales. La captura de este crustáceo está acompañada de una importante pesca incidental denominada Fauna de Acompañamiento del Camarón (FAC), que representa en promedio 3 veces el volumen del camarón y que se compone en un 60% de pescado. La mayor parte de estos peces mueren durante la captura y selección del camarón y son descartados y regresados al mar, lo que significa que anualmente se desaprovechan aproximadamente 27,000 toneladas de pescado que, por su valor nutritivo, puede utilizarse como materia prima para la elaboración de productos alimenticios.

La ausencia de propuestas tecnológicas para el aprovechamiento de especies de bajo valor comercial ha frenado el desarrollo del sector pesquero, ya que el esfuerzo pesquero se ha enfocado tradicionalmente en especies de alto valor comercial en el mercado sin preocuparse por el aporte nutricional que representan las especies no comerciales.

Se propone el aprovechamiento de la fauna de acompañamiento del camarón, de especies no comerciales y de la piel de pescado para obtener productos alimenticios aplicando tecnologías ya establecidas para la preparación de alimentos a partir de la carne de animales terrestres. Así mismo, es posible la obtención de gelatina, un aditivo alimenticio de alto valor agregado, utilizando como materia prima la piel de pescado.

La elaboración de productos alimenticios a partir de músculo de pescado muestra que el aprovechamiento de las especies de pescado consideradas de bajo valor comercial es una alternativa viable para impulsar el desarrollo de la industria pesquera.

Ciencia/tecnología

ISBN: 978-607-402-269-8



9786074022698