



Tomado de: http://jrtorrens.blogspot.mx/2015_08_01_archive.html/
<http://portuguese.alibaba.com/img/enzima-transglutaminase-900002358178.htmlse-900002358178.html>

Efecto de la transglutaminasa microbiana sobre las propiedades mecánicas de geles de carne de jaiba cocida

Effect of microbial transglutaminase on the mechanical properties of gels obtained from cooked crabmeat

Verónica Hernández-Robledo¹

Rocío M. Uresti-Marín^{1,3*}

Miguel Ángel Martínez-Maldonado²

Gonzalo Velazquez^{2,3}

¹Universidad Autónoma de Tamaulipas. Dirección General de Innovación Tecnológica, Edificio Centro de Excelencia, Centro Universitario, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, C.P. 87040.

²Instituto Politécnico Nacional. CICATA Unidad Querétaro, Cerro Blanco 141, col. Colinas del Cimatario, Santiago de Querétaro, Querétaro, México, C.P. 76090.

³Sociedad Mexicana de Nutrición y Tecnología de Alimentos, Las Fuentes sección Lomas, Reynosa, Tamaulipas, México, C.P. 88743.

*Autor para correspondencia:
ruresti@uat.edu.mx

Fecha de recepción:
28 de junio de 2015

Fecha de aceptación:
12 de noviembre de 2015

RESUMEN

La carne de jaiba cocida sometida a un ciclo de tres lavados puede gelificar, produciendo geles débiles. La adición de transglutaminasa (TGasa) microbiana puede mejorar las propiedades mecánicas de estos geles. El objetivo del presente trabajo fue determinar si la aplicación de un solo ciclo de lavado, combinado con la adición de la enzima TGasa microbiana, mejora las propiedades mecánicas de los geles de jaiba. La jaiba azul (*Callinectes sapidus*) se obtuvo de la Laguna Madre, Tamaulipas, México y se coció a 120 °C por 20 min para separar manualmente la carne del exoesqueleto. La carne cocida se homogenizó en una cortadora

de carne y se mezcló con 0 (control), 0.5 % y 1 % de TGasa microbiana. Posteriormente, se introdujo en tubos de acero inoxidable y se incubó a 40 °C por 30 min antes de cocerla a 90 °C por 15 min. También se obtuvieron geles mediante la cocción directa a 90 °C por 15 min, sin incubación previa. Se evaluaron los cambios en el análisis del perfil de textura (APT) de los geles obtenidos. El empleo de un solo ciclo de lavado de la carne de jaiba fue suficiente para mejorar las propiedades mecánicas de los geles de jaiba y la adición de TGasa microbiana incrementó esas propiedades, especialmente cuando los geles se incubaron a 40 °C antes de cocerlos

a 90 °C. Los resultados obtenidos indicaron que es factible obtener productos reestructurados a partir de carne de jaiba previamente cocida, si se emplea un solo ciclo de lavado y se adiciona la enzima TGasa microbiana.

PALABRAS CLAVE: carne de jaiba, transglutaminasa microbiana, tratamiento de lavado, gelificación.

ABSTRACT

Cooked crabmeat has been reported to produce weak gels after a three-cycle washing process. Adding microbial transglutaminase (MTGase) can improve the mechanical properties in these gels. The objective of this work was to determine if a single washing treatment combined with adding of MTGase could improve the mechanical properties of crabmeat gels. Blue crabs (*Callinectes sapidus*) were obtained from Laguna Madre Tamaulipas, México and cooked at 120 °C for 20 min to separate the cooked meat from the shell. Cooked meat was homogenized in a cutter with 0 (control), 0.5 % and 1 % MTGase and stuffed in stainless steel tubes and incubated at 40 °C for 30 min before cooking at 90 °C for 15 min. Gels were also obtained by cooking directly at 90 °C for 15 min without previous incubation. Changes on the texture profile analysis were evaluated. The single washing step was enough to improve the mechanical properties of the crabmeat gels and MTGase improved such properties especially when gels were incubated to 40 °C previous to their cooking at 90 °C. The results obtained indicate that it is feasible to produce restructured products from cooked crabmeat by reducing the number of washing cycles if MTGase is added.

KEYWORDS: crabmeat, microbial transglutaminase, washing treatment, gelling.

INTRODUCCIÓN

La pesquería de la jaiba es una actividad económica importante en México. En 2013 se ubicó dentro de los 11 primeros lugares a nivel mundial por volumen de captura de jaiba y cangrejo (27 548 T), ocupando China el primer lugar (789 791 T), seguido por Estados Unidos de

América (119 058 T) y Canadá (103 737 T) (FAO/GLOBEFISH, 2013). Esta actividad da empleo constante a las comunidades ribereñas de los litorales del Pacífico, Golfo de México y Caribe, ya que se realiza durante todo el año y la mayor parte de las capturas se destinan al consumo humano directo, destacando la comercialización de su carne (pulpa de jaiba) (Tapia-Valdivieso y col., 2008).

En México, Tamaulipas ocupa el quinto lugar en captura de jaiba con 1 724 T anuales (Anuario Estadístico de Pesca, 2013). La captura de jaiba se realiza principalmente en la Laguna Madre, destacando por su volumen los municipios de San Fernando y Matamoros, con un 51 % y 36 % del volumen total capturado en el estado, en los que la jaiba azul (*Callinectes sapidus* Rathbun, 1896), es la única especie capturada, y se comercializa en los mercados nacionales entera enhielada o en forma de pulpa cocida. También existen plantas de procesamiento que la exportan al mercado de Estados Unidos de América en forma de pulpa de jaiba cocida (Rodríguez-Castro y col., 2010; Velazquez-de-la-Cruz y col., 2012).

El músculo de la jaiba presenta poca consistencia, por lo que para poder obtener su carne es necesario someterla a un tratamiento de cocción, generalmente, mediante la inmersión de las jai-bas vivas en agua hirviendo, durante 20 min a 30 min, para inducir la desnaturalización y posterior agregación térmica de las proteínas musculares (Martínez y col., 2014). Esta operación facilita la separación manual de la carne por parte de las operadoras en la línea de producción, pero ha sido un factor determinante para el desarrollo de alimentos procesados a partir de la jaiba, debido a que se considera que las proteínas musculares agregadas térmicamente pierden sus propiedades funcionales, entre ellas la capacidad de gelificar (Ramírez y col., 2011).

La gelificación de las proteínas musculares es una propiedad funcional de gran interés comercial y tecnológico para el desarrollo de alimentos reestructurados. Las principales proteínas involucradas en la gelificación del músculo son la

actina, miosina y el complejo actomiosina, mismas que determinan las propiedades mecánicas y de textura a los geles (Ramírez y col., 2011; Sun y Holley, 2011). Por otra parte, las proteínas solubles del músculo aportan características de sabor, olor y color a los productos. Sin embargo, se sabe que estas proteínas interfieren con el mecanismo de gelificación, induciendo a la formación de geles más débiles. Este es el fundamento de la elaboración de productos de surimi, en los que la carne de pescado, desmenuzada mecánicamente, se lava con agua fría para remover la grasa, las proteínas sarcoplásmicas y otras sustancias solubles no deseables, como la sangre, pigmentos y componentes responsables del olor; con lo que se concentran las proteínas miofibrilares y se mejora la capacidad gelificante de la carne (Mendes y Nunes, 1992; Ramírez y col., 2000). La cantidad de agua requerida para remover las proteínas hidrosolubles del músculo de pescado, depende de la frescura de la carne, entre más fresco sea el pescado menos volumen de agua se requiere; pero en general, se realizan de 1 a 3 ciclos de lavados de 5 min, con una etapa de remoción del agua después de cada lavado, usando una relación 3:1 agua fría/carne de pescado (Lee, 1984; 1986).

En la gelificación de las proteínas miofibrilares, se reconocen tres etapas indispensables: la primera es la solubilización de las proteínas nativas con sal, en concentraciones que pueden variar entre 1 % y 3 %; la segunda es la desnaturalización o desdoblamiento de las cadenas polipeptídicas (estructuras secundaria, terciaria y cuaternaria), lo que usualmente se realiza térmicamente, aunque actualmente se exploraran procesos no térmicos como las altas presiones hidrostáticas; y la tercera es la agregación ordenada e irreversible de las proteínas musculares, la cual es obtenida al someter a calentamiento las proteínas, con un posteriormente enfriamiento (Martínez y col., 2014). También es importante que estas proteínas se encuentren en estado nativo, evitando su desnaturalización/agregación antes de la gelificación, con el fin de obtener un buen gel y, en algunos casos, cuando la agregación es extensa, no es

posible obtener la formación del gel (Byrem y Strausburg, 2000).

Las proteínas miofibrilares del músculo de las jaibas presentan propiedades mecánicas diferentes a las del resto de los organismos que actualmente se emplean en la elaboración de productos reestructurados alimenticios. Los resultados obtenidos por Baxter (2007), mostraron que las proteínas miofibrilares de la carne cocida del cangrejo Jonah (*Cancer borealis* Stimpson, 1859), son capaces de gelificar si se remueve la proteína soluble de la carne cocida, mediante lavados con agua fría. Esta propiedad es contraria a la premisa general establecida, de que las proteínas musculares agregadas no pueden formar geles. Adicional a este fenómeno, la gelificación de estas proteínas no requiere de la solubilización con sal, como etapa previa a la desnaturalización proteica inducida térmicamente (Baxter y Skonberg, 2008).

En estudios recientes, Martínez y col. (2014), encontraron que la carne cocida de jaiba azul, también fue capaz de gelificar después de remover las proteínas solubles mediante tres lavados consecutivos de agua fría. Estos autores reportaron que la carne lavada, de jaiba cocida a 120 °C por 30 min, presentó mejores propiedades de gelificación que la carne lavada de jaiba cocida en el rango de 50 °C a 70 °C por 30 min. Adicionalmente, reportaron que la carne lavada no necesitó sal para formar un gel y que la adición de 0.6 % de TGasa microbiana mejoró las propiedades mecánicas de los geles de jaiba.

El interés por la comercialización de la carne de jaiba se ha incrementado en diferentes países. En China, la acuicultura del cangrejo chino (*Eriocheir sinensis*, H. Milne Edwards, 1853), ha crecido durante los últimos años, debido a que posee un sabor delicioso y único, con un agradable aroma y un alto valor nutricional, de forma tal, que un alimento que anteriormente se consideraba un producto de lujo, se ha vuelto un alimento común en China (Shao y col., 2014). Este organismo se considera una especie invasora en Europa y Estados Unidos, pero en

Alemania se comercializa para fines industriales o para consumo humano directo en los mercados asiáticos, a precios que varían entre 1 euro y 3 euros por kg, alcanzándose volúmenes de venta que variaron entre 3 millones de euros y 4.5 millones de euros (Gollasch, 2011). En Argentina existe un gran interés por aprovechar la jaiba nadadora en el océano sureste (*Ovalipes trimaculatus* De Haan, 1833) y el cangrejo de las rocas o cangrejo tenazas negras (*Platyxanthus patagonicus* A. Milne-Edwards, 1879) en la Patagonia. Estos dos organismos se procesan igual que la jaiba azul, mediante un tratamiento térmico que facilita la separación manual de la carne y que puede ser por inmersión en agua a 100 °C por un periodo superior a los 5 min (Dima y col., 2012). En los manglares de Brasil se producen dos especies comerciales de jaibas: la *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763), llamada 'uçá' y la especie *Cardisoma guanhumi* (Latreille, 1825), llamada 'guaiamú' y que es la más abundante. Ambas especies también son despicadas después de cocerse en agua hirviendo (Monteiro y col., 2014; Pinheiro y col., 2015).

El proceso de lavado de la carne de jaiba cocida incrementa las propiedades mecánicas de los geles. Sin embargo, el mecanismo propuesto de tres lavados consecutivos también reduce el sabor y aroma característico de la jaiba, lo que podría afectar la aceptación organoléptica de los productos reestructurados obtenidos. El objetivo de este trabajo fue establecer el efecto que tiene la aplicación de un solo ciclo de lavado con agua fría y la adición de la enzima TGasa microbiana, sobre la gelificación de las proteínas musculares de jaiba previamente cocidas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Carne cruda de jaiba

La jaiba azul se capturó en la Laguna Madre, en las inmediaciones del poblado Carboneras, localizado en el municipio de San Fernando, Tamaulipas, México. Las jaibas se transportaron a la planta de procesamiento de la empresa ubicada en la ciudad de San Fernando, Tamaulipas, México, dentro de las primeras 4 h después de su captura. Fueron procesadas vivas mediante cocción a 120 °C por 20 min

en una autoclave comercial y se enfriaron inmediatamente con agua fría y limpia. La carne de la jaiba se removió del exoesqueleto de forma manual en la línea de producción. Se almacenó en recipientes de plástico y se transportó al laboratorio en hieleras (conteniendo hielo en escarcha), para su procesamiento.

Lavado de la carne de jaiba

La carne de jaiba cocida se procesó entre las 4 h y 6 h después de haber sido recibidas en el laboratorio. Se utilizó una muestra control (carne de jaiba sin lavar) y una muestra de carne de jaiba lavada una vez con agua fría (por debajo de los 4 °C), en una relación 3:1 (agua/carne). El lavado consistió en agitar suavemente la carne y el agua durante 7 min aproximadamente, dejando reposar la mezcla por 10 min antes de escurrirla y filtrarla, usando tela de pañalina comercial para extraer el agua excedente por prensado manual. La temperatura de la carne se mantuvo siempre por debajo de los 10 °C, lo que se logró adicionando hielo al agua durante el proceso de lavado de la carne de jaiba.

Producción de los geles de carne de jaiba

Los geles se obtuvieron mezclando 0.5 kg de carne de jaiba en una cortadora con capacidad de 5.5 L (Hobart, modelo 84145, Troy, Ohio, U.S.A), durante 3 min, sin la adición de sal. La enzima TGasa microbiana (Active TG-TI, Ajinomoto USA, Inc., Teaneck, NJ), se adicionó en polvo, en una concentración de 0.5 % o 1 %, en base al peso de la pasta de carne de jaiba. Y se usó una formulación sin enzima como control. La temperatura de la pasta permaneció por debajo de los 15 °C durante la operación de cortado. La pasta homogeneizada se introdujo en tubos de acero inoxidable (1.8 cm de diámetro interior; 17.7 cm de longitud), los cuales, se lubricaron previamente con aceite vegetal comercial. Los tubos se cerraron con tapones de rosca antes de la incubación a 40 °C por 30 min, seguido de una inmersión en agua a 90 °C por 15 min. Los controles se calentaron directamente a 90 °C por 15 min. Después de la cocción, los tubos fueron colocados en un baño de agua fría (4 °C a 5 °C) por 30 min. Los productos reestructurados de carne de

jaiba fueron extraídos de los tubos y almacenados 10 h a 4 °C en bolsas de poliestireno antes de realizar las pruebas.

Análisis del perfil de textura

Las propiedades mecánicas se determinaron siguiendo el método descrito por Martínez y col. (2014), usando un Texturómetro (Stable Micro Systems Texturometer, Modelo TAXT2i, Viena Court, England, UK). El tamaño de las muestras de geles fue de 1.87 cm de diámetro y 3 cm de longitud y se equilibraron a temperatura ambiente por 30 min, en bolsas de plástico, para evitar la deshidratación antes de las mediciones. El análisis del perfil de textura (APT), se realizó comprimiendo las muestras al 75 % de su altura inicial, usando una sonda cilíndrica de aluminio (P/50), con 50 mm de diámetro y una velocidad de cabezal de 60 mm/min. Se reportaron los valores de dureza, fracturabilidad, cohesividad, elasticidad y masticabilidad para cada tratamiento. Se analizaron seis muestras por cada tratamiento.

Análisis estadístico

Los datos se analizaron usando el programa estadístico denominado Statgraphics v5 (Manugistics, Inc., Rockville, MD, USA). Se aplicó un análisis de varianza. Se usó la prueba de rango múltiple de la mínima diferencia significativa (LSD), para establecer diferencias entre tratamientos, considerando una diferencia significativa cuando $P \leq 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de la cocción directa en geles de carne no lavada

Los geles elaborados con carne de jaiba sin lavar, obtenidos mediante cocción directa a 90 °C por 15 min, presentaron bajos valores de dureza (3.9 kg) y de fracturabilidad (2.6 kg) (Figura 1). También presentaron un valor intermedio de resortividad (0.65), y muy bajos valores de cohesividad (0.31) y de masticabilidad (0.78 kg) (Figura 2). El bajo valor de dureza y masticabilidad indica que estos geles son muy débiles y serían poco atractivos para el consumidor, de acuerdo con los valores de textura de otros productos reestructurados (Téllez-Luis y col., 2002). Durante

la primera compresión la estructura se fractura, requiriéndose poca fuerza para conseguir romper el gel, lo cual concuerda con el bajo valor de cohesividad. El valor de cohesividad se obtiene al dividir la fuerza que se requiere para comprimir la muestra durante un segundo ciclo, entre la fuerza que se requirió en la primera compresión. El valor bajo de cohesividad indica que la muestra perdió su estructura interna durante la compresión inicial, por lo que ya no se requirió mucha fuerza para comprimir la nuevamente. Sin embargo, los geles mostraron un valor de resortividad intermedio, lo que indica que conservaron parcialmente su estructura y recuperaron la forma después de la primer compresión. Esto significa que el rompimiento de la estructura se debió principalmente a fracturas del sistema y no al rompimiento total del gel. En general, este tipo de comportamiento se presenta cuando las proteínas desarrollan enlaces entre cadenas adyacentes, pero estos enlaces no son fuertes o son muy pocos. El valor de masticabilidad se obtiene de multiplicar los valores de dureza, resortividad y cohesividad, por lo que al ser bajos estos parámetros, el valor de masticabilidad también lo fue (Figuras 1 y 2).

La TGasa microbiana se adiciona para inducir la formación de enlaces covalentes entre cadenas proteicas adyacentes en diferentes sistemas musculares (Andrés-Bello y col., 2011; Ramírez y col., 2011). En general, las enzimas transglutaminasas, de origen animal o microbiano, catalizan la formación de un enlace covalente entre el grupo ϵ -amino del grupo R del aminoácido lisina y el grupo γ -carboxiamida del grupo R del aminoácido glutamina (Kumazawa y col., 1993).

En el presente estudio, la adición de la TGasa microbiana permitió incrementar parcialmente los valores de los parámetros que se miden en el APT (Figuras 1 y 2). La dureza fue mayor en los geles a los que se les adicionó la enzima, alcanzándose un valor de 5.7 kg en el gel conteniendo 1 % de la enzima, sin embargo, este aumento no fue significativo ($P > 0.05$), con relación al valor de dureza obtenido en el gel control sin enzima. El valor de fracturabilidad incrementó por efecto de la adición de la

TGasa microbiana, pero este incremento solo fue significativo ($P \leq 0.05$), cuando se usó 1 % de la enzima, para alcanzar un valor de 5.7 kg (Figura 1).

La adición de 1 % de TGasa microbiana permitió incrementar el valor de resortividad significativamente ($P \leq 0.05$), alcanzándose un valor máximo de 0.77 (Figura 2), indicando que la estructura mejoró las interacciones proteicas entre cadenas adyacentes; sin embargo, la adición de la enzima no incrementó la cohesividad significativamente ($P > 0.05$), obteniéndose un valor final de 0.32 al adicionar 1 % de TGasa microbiana, lo que sugiere que los geles mostraron fracturas, las cuales, al no tener continuidad para formar una fractura mayor, permiten que el gel conserve su macroestructura y regrese parcialmente a su forma inicial. El incremento en los valores de dureza y resortividad permitieron mejorar levemente los valores de masticabilidad (1.4 kg) (Figura 2).

La adición de la TGasa microbiana, durante la elaboración de los geles de carne de jaiba cocida no lavada, permitió mejorar levemente sus propiedades de textura, pero este incremento no fue suficiente para formar un producto reestructurado.

Efecto de la incubación térmica en geles de carne no lavada

La incubación térmica a 40 °C por 30 min, previa al tratamiento de cocción a 90 °C por 15 min, es una práctica común en el procesamiento del surimi de especies que habitan en clima templados, que permite mejorar las propiedades mecánicas de los geles a obtener (Lee, 1984; 1986).

En este trabajo, los geles de carne cocida sin lavar, obtenidos mediante una incubación previa a 40 °C por 30 min, antes de cocerlos a 90 °C por 15 min, no presentaron mejores propiedades mecánicas que los geles cocidos directamente a 90 °C por 15 min. El valor de dureza en los geles control sin TGasa microbiana fue de 3.79 kg, en tanto que la muestra conteniendo 1 % de enzima alcanzaron un valor máximo de 5.47 kg (Figura 1).

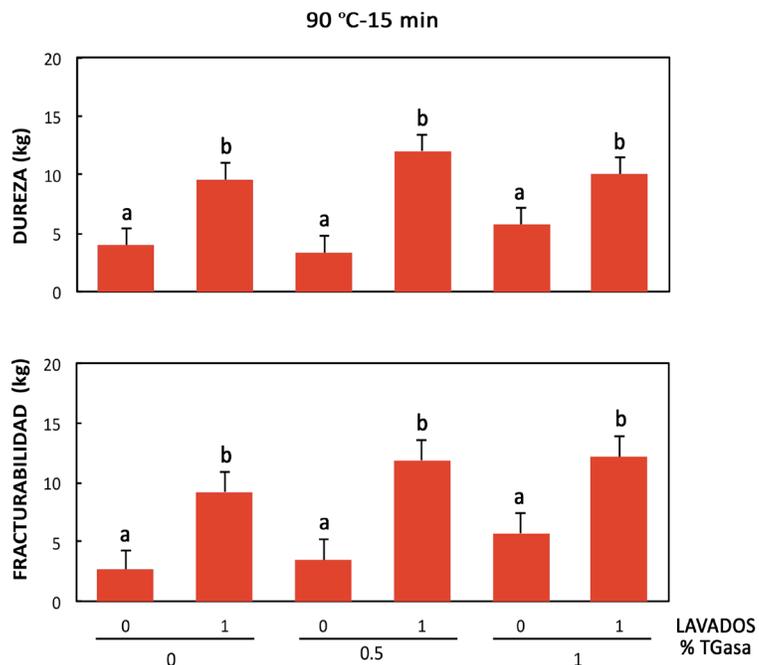
En el caso de la fracturabilidad, estas muestras presentaron valores de 3.63 kg para los geles sin TGasa microbiana y de 5.47 kg para los geles con 1 % de la enzima (Figura 1). El valor de resortividad varió de 0.6 en la muestra sin enzima para alcanzar un valor de 0.78 en la muestra con 1% de TGasa microbiana, en tanto que la cohesividad varió entre 0.29 y 0.32 para las tres muestras (Figura 2). La masticabilidad tuvo un valor de 0.79 kg en la muestra sin enzima, el cual incrementó hasta 1.38 kg en la muestra conteniendo 1 % de TGasa microbiana (Figura 2).

Los resultados obtenidos, para los geles de jaiba cocida sin lavar, permiten establecer que estos geles presentan una estructura débil, la cual no se ve suficientemente beneficiada por la adición de la TGasa microbiana. También se observó que la incubación a 40 °C, previa a la cocción a 90 °C por 15 min, no tuvo efecto significativo en las propiedades texturales de los geles de jaiba, como se esperaba por la acción de la TGasa microbiana ($P > 0.05$), que suele inducir la formación de enlaces covalentes entre cadenas proteicas adyacentes, fortaleciendo la red tridimensional que estructura los geles proteicos (Monteiro y col., 2015).

El incremento de las propiedades mecánicas de los geles de surimi, por efecto de la incubación térmica, previa a la cocción, está asociado con dos fenómenos reconocidos: el incremento del tiempo en que se exponen las cadenas adyacentes de las proteínas, a la actividad de la enzima TGasa endógena del pescado y de la TGasa microbiana adicionada, así como el desdoblamiento de la cadena proteica (desnaturalización), que se da en el intervalo de los 40 °C a 50 °C para la miosina, proteína considerada la responsable de la gelificación en los sistemas musculares (Ramírez y col., 2000; Ramírez y col., 2011). También es importante considerar que los geles de surimi no se incuban a temperaturas entre 50 °C a 70 °C, ya que en los sistemas musculares de pescado, este intervalo de temperatura induce la activación de las enzimas proteolíticas endógenas, que causan un rompimiento de la estructura de los geles, disminuyendo los valores

■ Figura 1. Efecto del lavado y la TGasa microbiana en las propiedades de dureza y fracturabilidad de geles de jaiba obtenidos a 90 °C.

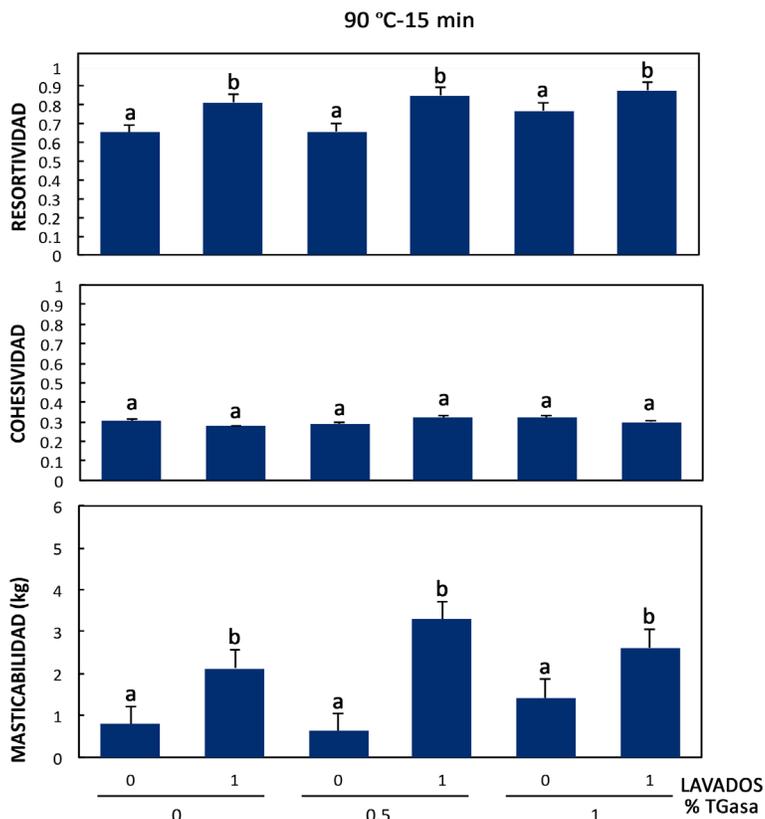
Figure 1. Effect of washing and MTGase in hardness and fracturability properties of crab gels obtained at 90 °C.



^{a,b} Letras distintas indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$) por el efecto de lavado a un mismo nivel de concentración de transglutaminasa microbiana.

■ Figura 2. Efecto del lavado y la TGasa microbiana en las propiedades de resortividad, cohesividad y masticabilidad de geles de jaiba obtenidos a 90 °C.

Figure 2. Effect of washing and MTGase in springiness, cohesiveness and chewiness properties of crab gels obtained at 90 °C.



^{a,b} Letras distintas indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$) por el efecto de lavado a un mismo nivel de concentración de transglutaminasa microbiana.

de textura (Ramírez y col., 2002). Sin embargo, es importante destacar que la TGasa microbiana presenta una actividad máxima de formación de gel a los 60 °C y que es poco probable que en los geles de jaiba cocidos a 120 °C por 20 min se presente el desdoblamiento de la miosina, o la actividad de proteasas endógenas, ya que usualmente ambas enzimas agregan irreversiblemente en esas condiciones y pierden su funcionalidad biológica y tecnológica; aunque en la jaiba se retiene la capacidad de gelificar. Por lo que en estudios posteriores será necesario explorar otras condiciones de incubación térmica, tales como la incubación en el rango de los 60 °C, ya que es la temperatura óptima de la TGasa microbiana y la carne de jaiba cocida podría seguir siendo un sustrato adecuado para la enzima aún a esta temperatura.

Efecto del lavado de la carne cocida en las propiedades de textura

Cocción directa

Los geles obtenidos a partir de carne de jaiba cocida, la cual fue lavada en una ocasión con agua fría, presentaron una mejor estructura tridimensional, formándose geles con mayores valores en las propiedades de textura, mismas que incrementaron aún más por efecto de la adición de la enzima TGasa microbiana (Figuras 3 y 4), indicando que la remoción de las proteínas hidrosolubles facilitó la acción de la enzima para formar enlaces covalentes entre las cadenas proteicas de miosina y actomiosina adyacentes.

La dureza de los geles obtenidos sin la adición de TGasa microbiana, mediante la cocción directa a 90 °C, incrementó de 3.9 kg en la muestra sin lavar, a 9.5 kg en la muestra lavada, lo que representó un incremento de más del doble del valor original. La adición de 0.5 % y 1 % de TGasa microbiana permitió incrementar la dureza a 12 kg y 10 kg respectivamente (Figura 1). La fracturabilidad incrementó de 2.6 kg en la muestra control, a 9.1 kg en la muestra lavada; la adición de 1 % de TGasa microbiana permitió alcanzar el valor máximo de fracturabilidad que fue de 12.1 kg (Figura 3). La resortividad incrementó de 0.65, un valor intermedio, a 0.81, un valor alto, por efecto

del lavado y se incrementó hasta 0.88 al adicionar 1 % de TGasa microbiana a la carne cocida lavada (Figura 4). La cohesividad no se incrementó por efecto del lavado ni por la combinación del lavado y la adición de la TGasa microbiana; en tanto que la masticabilidad se vio mejorada por el incremento en la dureza y la resortividad (Figura 4).

Incubación térmica antes de la cocción

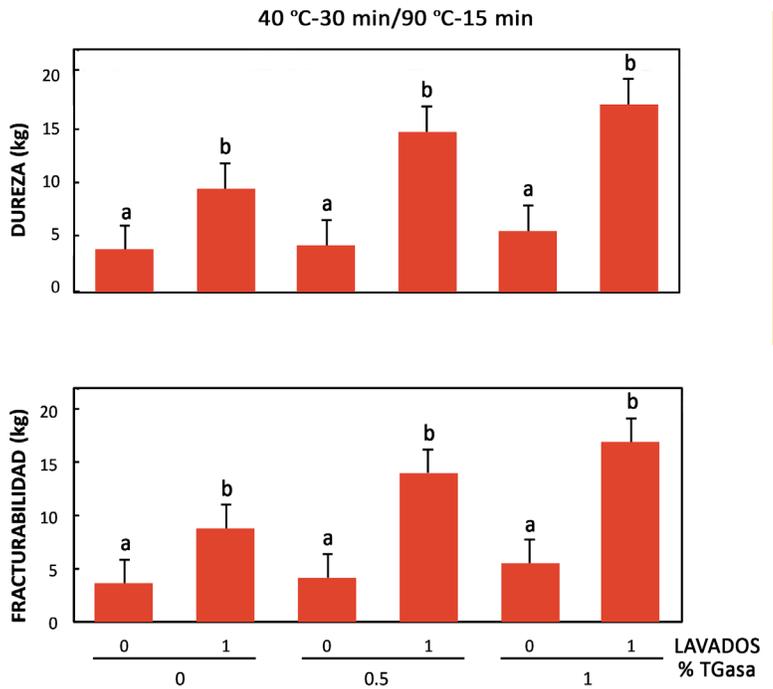
La incubación térmica de los geles a 40 °C por 30 min, antes de ser cocidos a 90 °C, permitió mejorar las propiedades de los geles obtenidos con la adición de TGasa microbiana (Figuras 3 y 4). La dureza de la muestra lavada, incubada a 40 °C sin TGasa microbiana (Figura 3), tuvo un valor similar al de la muestra lavada, sin TGasa microbiana y cocida directamente a 90 °C (Figura 1). Por otro lado, la dureza de la muestra sin enzima e incubada a 40 °C, pasó de 3.8 kg a 9.3 kg, por efecto del lavado; pero la adición de 0.5 % y 1 % permitió incrementar la dureza a 14.4 kg y 16.9 kg respectivamente (Figura 3), valores muy por encima de los geles obtenidos mediante una cocción directa a 90 °C y bajo las mismas condiciones, un ciclo de lavado y 1 % de TGasa microbiana, que obtuvieron un valor máximo de dureza de 12.01 kg y 9.97 kg respectivamente (Figura 1).

La fuerza requerida para lograr la fractura de los geles también se vio mejorada por la incubación previa a la cocción, alcanzándose un valor máximo de 16.9 kg, al adicionar 1 % de TGasa microbiana a las muestras con un lavado. La resortividad se incrementó hasta un valor de 0.88, en la muestra con 1 % de TGasa microbiana y un ciclo de lavado, pero la cohesividad no se vio mejorada (Figura 4), lo que indica que el tratamiento permite un mayor ligado de las cadenas proteicas, pero no con la fuerza suficiente para evitar las fracturas de la estructura que se inducen durante la compresión. La masticabilidad se vio mejorada por el incremento de la dureza y la resortividad (Figura 4).

El incremento de las propiedades de textura, en los geles obtenidos de carne lavada y adicionados con TGasa microbiana, por efecto de la incubación a 40 °C, es probable que esté asociado por

■ Figura 3. Efecto del lavado y la TGasa microbiana en las propiedades de dureza y fracturabilidad de geles de jaiba obtenidos por incubación a 40 °C durante 30 min antes de cocerlos a 90 °C.

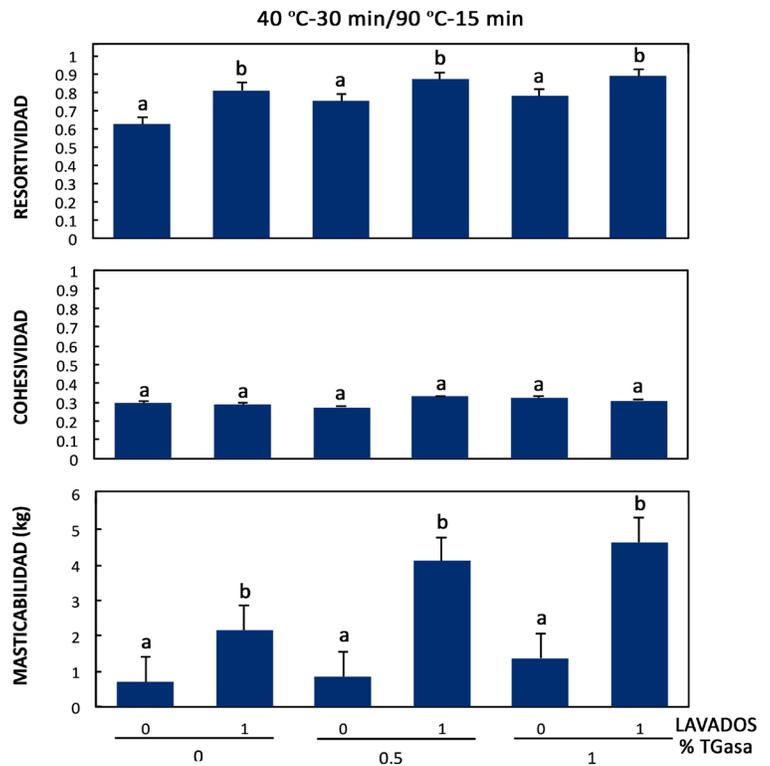
Figure 3. Effect of washing and MTGase in hardness and fracturability properties of crab gels obtained by incubation at 40 °C for 30 min before cooking at 90 °C.



^{a,b} Letras distintas indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$) por el efecto de lavado a un mismo nivel de concentración de transglutaminasa microbiana.

■ Figura 4. Efecto del lavado y la TGasa microbiana en las propiedades de resortividad, cohesividad y masticabilidad de geles de jaiba obtenidos por incubación a 40 °C durante 30 min antes de cocerlos 90 °C.

Figure 4. Effect of washing and MTGase in springiness, cohesiveness and chewiness properties of crab gels obtained by incubation at 40 °C for 30 min before cooking 90 °C.



^{a,b} Letras distintas indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$) por el efecto de lavado a un mismo nivel de concentración de transglutaminasa microbiana.

el mayor tiempo de exposición a la TGasa, como se mencionó previamente. Estas condiciones fueron adecuadas para obtener geles con buenas propiedades de textura, que podrían tener aceptación por parte de los consumidores.

La carne de jaiba cocida lavada mostró ser un buen sustrato para la transglutaminasa microbiana, la cual aumentó su eficiencia en la formación de enlaces covalentes, cuando la carne se incubó a 40 °C por 30 min, previo a su cocción a 90 °C por 15 min. En este sentido, Galetti (2010), reportó que la enzima TGasa microbiana, adicionada al 2 %, fue capaz de mejorar las propiedades mecánicas de patés obtenidos de carne cruda (no lavada), de jaiba europea verde (*Carcinus maenas* Leach, 1813). Este efecto podría deberse a que se le dio mayor tiempo de actividad, aunque también podría deberse a un desdoblamiento parcial de las proteínas, pero de esto último no se tiene evidencia. Es importante considerar que se tienen algunos conocimientos básicos que serán importantes para entender el fenómeno, entre ellos que el músculo de la jaiba está compuesto principalmente por miosina y actina, al igual que el resto de los animales que se usan para el consumo humano, y estas proteínas presentan las mismas transiciones térmicas cuando se someten a calentamiento; el análisis de la carne de jaiba con calorimetría de barrido diferencial (DSC; por sus siglas en inglés: Differential Scanning Calorimetry), mostró una temperatura máxima de desnaturalización a los 49 °C para la miosina y de 77.5 °C para la actina, y ambas alcanzan un 100 % de desnaturalización durante su cocción (Dima y col., 2012). Las proteínas musculares que han sido agregadas presentan en general mala capacidad de gelificación, lo que explica porque la congelación induce la formación de productos reestructurados de pescado con mala calidad textural (Uresti y col., 2005). Sin embargo, las proteínas musculares de la carne del cangrejo Jonah, fueron capaces de gelificar aún después de haber sido cocidas por inmersión en agua hirviendo, una vez que las proteínas hidrosolubles fueron removidas mediante un proceso de tres ciclos de lavado y posterior eliminación del agua, similar al que se somete el pescado en la elaboración

de surimi (Baxter, 2007; Baxter y Skonberg, 2008). Esta misma propiedad fue observada en la carne de jaiba azul, sometida a 120 °C por 15 min. Adicionalmente, estas proteínas fueron capaces de interaccionar con la enzima TGasa microbiana para formar geles más rígidos (Martínez y col., 2014).

CONCLUSIONES

La carne cocida de jaiba azul conservó la capacidad de formar geles inducidos térmicamente, propiedad que se vio mejorada una vez que las proteínas hidrosolubles fueron removidas parcialmente, mediante un ciclo de lavado con agua fría. La adición de TGasa microbiana no fue suficiente para mejorar las propiedades de los geles obtenidos de carne de jaiba cocida sin lavar, en un nivel suficiente que permita la obtención de reestructurados. Sin embargo, el uso de la TGasa microbiana, a 0.5 %, fue suficiente para formar geles con buenas propiedades de textura, cuando se usó la carne cocida lavada, especialmente cuando se aplicó un tratamiento previo de incubación a 40 °C por 30 min, antes de someterlos a una cocción directa a 90 °C. El proceso desarrollado permitió sentar las bases tecnológicas para el desarrollo de productos reestructurados de jaiba tipo nuggets o similares. Se requieren más estudios para entender los principios fisicoquímicos que permiten que las proteínas de jaiba cocidas puedan gelificar nuevamente.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al apoyo otorgado por parte del Comité Nacional Sistema Producto Jaiba de México y a la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Alimentos para el desarrollo del presente estudio. Se agradece también al C.P. Francisco Leovegildo González Rincones (q.e.p.d), por su apoyo, asesoría y colaboración para el planteamiento y desarrollo del presente proyecto.

REFERENCIAS

- Andrés-Bello, A., García-Segovia, P., Ramírez, J. A., and Martínez-Monzó, J. (2011). Production of cold-setting restructured fish products from gilthead sea bream (*Sparus aurata*) using microbial transglutaminase and regular and low-salt level. *Cyta-Journal of Food*. 9(2): 121-125.
- Anuario Estadístico de Pesca (2013). Jaiba, en *CO-NAPESCA-SAGARPA*. [En línea]. Disponible en: http://www.conapesca.gob.mx/wb/cona/cona_anuario_estadistico_de_pesca. Fecha de consulta: 9 de mayo de 2015.
- Baxter, S. R. (2007). Gelation of previously cooked Jonah crab (*Cancer borealis*) minced meat in new food product development, in *Electronic theses and dissertations*. [En línea]. Disponible en: <http://digitalcommons.library.umaine.edu/etd/9/>. Fecha de consulta: 9 de mayo de 2015.
- Baxter, S. R. and Skonberg, D. I. (2008). Gelation properties of previously cooked minced meat from Jonah crab (*Cancer borealis*) as affected by washing treatment and salt concentration. *Food Chemistry*. 109(2): 332-339.
- Byrem T. M and Strausburg, G. M. (2000). *Red meats*. En G. L. Christen and J. S. Smith (Eds.) *Food chemistry: Principles and applications* (pp. 365-398). West Sacramento, CA: Science Technology System.
- Dima, J. B., Barón, P. J., and Zaritzky, N. E. (2012). Mathematical modeling of the heat transfer process and protein denaturation during the thermal treatment of Patagonian marine crabs. *Journal of Food Engineering*. 113(4): 623-634.
- FAO/GLOBEFISH (2013). Estadísticas mundiales de pesca y acuicultura de la FAO. [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/en>. Fecha de consulta: 13 de mayo de 2015.
- Galetti, J. A. (2010). Mechanical processing of european green crab (*Carcinus maenas*), the development of a value-added product and the use of restructuring additives to increase the functional properties of green crab patties. Master degree dissertation. The University of Maine. [En línea]. Disponible en: <http://foglerlibrary.org/theses/pdf/GalettiJA2010.pdf>. Fecha de consulta: 15 de mayo de 2015.
- Gollasch, S. (2011). NOBANIS – Invasive alien species fact sheet – Eriocheir sinensis. From: Online, in *Database of the European Network on Invasive Alien Species – NOBANIS*. [En línea]. Disponible en: www.nobanis.org. Fecha de consulta: 18 de mayo de 2015.
- Kumazawa, Y., Seguro, K., Takamura, M., and Motoki, M. (1993). Formation of epsilon-(gamma-glutamyl) lysine cross-link in cured Horse Mackerel meat induced by drying. *Journal of Food Science*. 58(5): 1062-1064.
- Lee, C. M. (1984). Surimi process technology. *Food Technology-Chicago*. 38(11): 69-80.
- Lee, C. M. (1986). Surimi manufacturing and fabrication of surimi-based products. *Food Technology-Chicago*. 40(3): 115-124.
- Martínez, M. A., Robledo, V., Velázquez, G., Ramírez, J. A., Vázquez, M., and Uresti, R. M. (2014). Effect of precooking temperature and microbial transglutaminase on the gelling properties of blue crab (*Callinectes sapidus*) proteins. *Food Hydrocolloids*. 35(1): 264-269.
- Mendes, R. and Nunes, M. L. (1992). Characterization of sardine (*Sardina pilchardus*) protein changes during surimi preparation. En I. Huss, F. K. McKeth and Y. H. Lan (Eds.), *Quality assurance in the fish industry* (pp. 63-71). London: Elsevier Science.
- Monteiro, M. A., Oliveira, F. P., Araújo, J. N., and Fernandes, M. E. (2014). Productive chain of the mangrove crab (*Ucides cordatus*) in the town of Bragança, in the Northern Brazilian State of Para (Amazon Region). *Journal of Coastal Research*. (70): 443-447.
- Monteiro, M. L. G., Mársico, E. T., Lázaro, C. A., da Silva, A. C. V. C., da Costa-Lima, B. R. C., da Cruz, A. G., and Conte-Júnior, C. A. (2015). Effect of transglutaminase on quality characteristics of a value-added product tilapia wastes. *Journal of Food Science and Technology*. 52(5): 2598-2609.
- Pinheiro, M. A. A., de Souza, C. A., and Borba, H. (2015). Meat yield of the mangrove crab (*Ucides cordatus* Linnaeus, 1763) (Crustacea, Brachyura, Ucididae). *Boletim do Instituto de Pesca, São Paulo*. 41(1): 43-56.
- Ramírez, J. A., García-Carreño, F. L., Morales, O. G., and Sánchez, A. (2002). Inhibition of modori-associated proteinases by legume seed extracts in surimi production. *Journal of Food Science*. 67(2): 578-581.
- Ramírez, J. A., Rodríguez-Sosa, R., Morales, O. G., and Vázquez, M. (2000). Surimi gels from striped mullet (*Mugil cephalus*) employing microbial transglutaminase. *Food Chemistry*. 70(4): 443-449.
- Ramírez, J. A., Uresti, R. M., Velazquez, G., and Vázquez, M. (2011). Food hydrocolloids as additives to improve the mechanical and functional properties of fish products: a review. *Food Hydrocolloids*. 25(8): 1842-1852.
- Rodríguez-Castro, J. H., Adame-Garza, J. A. y Olmeda-de-la-Fuente, S. E. (2010). La actividad pesquera en Tamaulipas, ejemplo nacional. *CienciaUAT*. 4(4): 28-35.
- Shao, L., Wang, C., He, J., Wu, X., and Cheng, Y. (2014). Meat quality of chinese mitten crabs fattened with natural and formulated diets. *Journal of Aquatic Food Product Technology*. 23(1): 59-72.
- Sun, X. D. and Holley, R. A. (2011). Factors influencing gel formation by myofibrillar proteins in muscle foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 10(1): 33-51.
- Tapia-Valdivieso, I., Reyes-Arena, E., Vargas, A., Ramos, A. M. y Cea, M. (2008). Actualización en la extracción, explotación y consumo de jaiba marmola (*Cancer edwardsii*) en Chile. *Ciencia y trabajo*. 10(28): 50-56.
- Téllez-Luis, S. J., Uresti, R. M., Ramírez, J. A., and Vázquez, M. (2002). Low-salt restructured fish products, using microbial transglutaminase as binding agent. *Journal of the Science and Agriculture*. 82(9): 953-959.
- Uresti, R. M., Velazquez, G., Vázquez, M., Ramírez, J. A., and Torres, J. A. (2005). Effect of sugars and polyols on the functional and mechanical properties of pressure-treated arrowtooth flounder (*Atheresthes stomias*) proteins. *Food Hydrocolloids*. 19(6): 964-973.
- Velazquez-de-la-Cruz, G., Ramírez-de-León, J. A., Pérez-Castañeda, R., Reyes López, M. A. y Martínez-Vázquez, A. V. (2012). *Aprovechamiento de la jaiba azul (Callinectes sapidus) en la Laguna Madre de Tamaulipas*. México: Editorial Plaza y Valdés. 110 Pp.