

# Food Science and Technology International

<http://fst.sagepub.com/>

---

**Nota. Efecto de la historia térmica en la gelificación de pasta fresca de jurel (T. murphyi) tipo surimi**  
**Note. Effect of thermal history on the gelation of horse mackerel (T. murphyi) raw paste surimi-type**

J.M. Aguilera and J. Ortiz  
*Food Science and Technology International* 2000 6: 323  
DOI: 10.1177/108201320000600407

The online version of this article can be found at:  
<http://fst.sagepub.com/content/6/4/323>

---

Published by:



<http://www.sagepublications.com>

On behalf of:



Consejo Superior de Investigaciones Científicas (Spanish Council for Scientific Research)

**Additional services and information for *Food Science and Technology International* can be found at:**

**Email Alerts:** <http://fst.sagepub.com/cgi/alerts>

**Subscriptions:** <http://fst.sagepub.com/subscriptions>

**Reprints:** <http://www.sagepub.com/journalsReprints.nav>

**Permissions:** <http://www.sagepub.com/journalsPermissions.nav>

**Citations:** <http://fst.sagepub.com/content/6/4/323.refs.html>

>> [Version of Record](#) - Jan 1, 2000

[What is This?](#)

# Nota. Efecto de la historia térmica en la gelificación de pasta fresca de jurel (*T. murphyi*) tipo surimi

## Note. Effect of thermal history on the gelation of horse mackerel (*T. murphyi*) raw paste surimi-type

J. M. Aguilera<sup>1\*</sup> y J. Ortiz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Química y Bioprocursos, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile, Vicuña Mackenna 4860, Santiago, Chile

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química, Vicuña Mackenna 20, Santiago, Chile

Se empleó pasta fresca de jurel (*T. murphyi*) sin congelar tipo surimi, que se sometió al proceso de asentamiento en presencia de KCl (2 %). Conjuntamente, la pasta fue sometida a ciclos distintos de aplicación de calor y frío. El empleo de KCl produjo una mejora en la formación del gel final tipo kamaboko. También se observó que los ciclos de calor y frío provocaban un efecto favorable en el asentamiento y en la calidad textural del gel, en especial, cuando el calentamiento se realizaba lentamente antes del enfriamiento. El proceso de asentamiento se caracterizó mediante la medición de los parámetros físicos; módulo de almacenamiento ( $G'$ ), mediante la reología dinámica oscilatoria y del módulo aparente de Young ( $E$ ) aplicando ensayos de compresión mecánica. Como complemento de las pruebas reológicas, se registraron los cambios entálpicos para la gelificación de la pasta mediante calorimetría diferencial de barrido.

*Palabras clave:* jurel, surimi, kamaboko, asentamiento, gelificación, reología

Fresh paste from horse mackerel (*T. murphyi*) surimi-type, was processed during setting using (2%) KCl. The paste was subjected to different heating and cooling cycles. The salt produced an improvement in kamaboko-type gel formation. The heating and cooling cycles enhanced the setting process and improved textural quality of the resulting gel, mainly when the heating before cooling was slow. The setting process was characterized by several physical parameters: storage module ( $G'$ ), using an oscillatory rheological technique, and apparent Young module ( $E$ ), by means of mechanical compression tests. The enthalpic changes for gelification of the paste were determined using differential scanning calorimetry.

*Keywords:* horse mackerel, surimi, kamaboko, setting, gelification, rheology

## INTRODUCCIÓN

Las proteínas de músculo de pescado por efecto del calor sufren cambios tales como la desnaturalización y la gelificación, procesos que se han explotado comercialmente en la producción de alimentos con texturas deseables (Stone y Stanley, 1992). Entre éstos

se encuentran el *marinbeef*, el surimi, el kamaboko, y las pastas de pescado, que son esencialmente concentrados de proteínas miofibrilares capaces de formar geles que ligan tanto grasa como agua. De esta forma se originan alimentos de propiedades funcionales únicas, en los que la característica principal es una excelente textura y una alta estabilidad. Estas propiedades finales además de depender de factores externos, como la especie de pescado y de su frescura, de los efectos del proceso de congelación, etc., están influenciadas por la presencia de ingredientes de distinta naturaleza como los polisacáridos, los lípidos, las proteínas y las sales.

En el caso del surimi las materias primas utilizada en su elaboración corresponden a especies infrautilizadas, pescado industrial y restos del fileteado de

\*To whom correspondence should be sent  
(e-mail: [jmaguile@ing.puc.cl](mailto:jmaguile@ing.puc.cl)).

Received 5 December 1998; revised 6 September 1999.

pescado, principalmente de carne blanca, de contenidos bajos en grasas (Regenstein, 1986; Aguad *et al.*, 1989). Entre las especies más utilizadas están el abadejo de Alaska (*Theragra chacogrammus*), el hoki (*Macruronus novaeze*) y el croaker (*Nibea mitsukurii*). El surimi es relativamente barato y una buena fuente de proteínas, sin embargo, dependiendo de la especie, tiene fuertes limitaciones desde el punto de vista de sus propiedades funcionales y de su baja estabilidad en congelación. La calidad del surimi se determina en términos de la capacidad formadora del gel final, utilizado en la preparación de "kamaboko" (plato tradicional japonés) y de su resistencia, blancura, humedad, análisis sensorial, humedad y pH. Actualmente, el desarrollo del mercado se encuentra limitado por la disminución del stock de pescado de carne blanca, baja en grasas y por la baja eficiencia (20 %) del proceso de obtención de surimi.

El jurel (*Trachurus murphyi*) es un recurso pelágico abundante en las costas de Chile que por su aspecto y alto contenido graso se destina a la producción de harina y conservas de baja aceptabilidad por los consumidores. En el jurel se puede distinguir dos tipos de músculo; el rojo, que representa aproximadamente el 5,1 % del peso total y el 11,9 % de la masa muscular; y el blanco, que corresponde aproximadamente al 37 % del peso total y al 88,1 % de la masa muscular (Bertelsen, 1991).

Una propiedad interesante del surimi es su capacidad de formar geles a temperaturas menores de 40 °C, y que si se calientan posteriormente hasta 80-90 °C dan lugar a geles más firmes y elásticos que los calentados directamente (Sano, 1988; Niwa, 1992). Estas propiedades se atribuyen al proceso de asentamiento, descrito como el resultado de los cambios conformacionales en las proteínas miofibrilares y que terminan originando redes de malla muy estructurada. La orientación fibrilar estructurada se puede modificar mediante tratamientos térmicos adecuados para así, obtener mejores texturas en los geles de surimi y sus derivados. La capacidad de gelificación además de verse afectada por el tipo de tratamiento térmico, puede también, ser favorecida o inhibida por la adición de ingredientes capaces de interactuar con las proteínas del músculo de pescado lo que influye en la textura final de sus geles. En estudios preliminares, se ha observado, que la adición de NaCl y KCl afectan tanto a la elasticidad de geles puros de pasta de jurel, así como, a la de los geles mixtos formados por la misma pasta de pescado y el polisacárido gelificante kappa-carragenato (Raffo, 1993).

En este trabajo se estudió el efecto de las operaciones de enfriamiento y calentamiento sobre la capacidad de gelificación de pulpa fresca de jurel (*T. murphyi*). Los estudios se realizaron utilizando pulpa fresca de jurel tipo "surimi-raw" (Okada, 1992). Además, se estudió el efecto de la adición de KCl en la gelificación de la pasta fresca de jurel, debido a que en la segunda parte de este

estudio (resultados por publicar) se utilizó como ingrediente, el agente gelificante kappa-carragenato, cuya gelificación se ve sensibilizada por la presencia del catión K<sup>+</sup>. Para la observación de los cambios en las propiedades viscoelásticas de la gelificación de pasta fresca de jurel, se utilizaron la reología oscilatoria dinámica (ROD) y los ensayos de compresión mecánica, complementados con la calorimetría diferencial de barrido (DSC).

## MATERIAL Y METODOS

### Material

#### *Materia prima*

Se utilizó como materia prima jurel (*T. murphyi*). A la muestra se le eliminó la piel, la cabeza, la cola, las vértebras y las espinas, los filetes obtenidos, compuestos por músculo blanco y rojo, se lavaron sucesivamente (tres veces) con abundante agua potable (proporción 1:4) a 5 °C. Posteriormente, la pulpa se dejó escurrir durante 30 min. El rendimiento del proceso fue de un 26 % del peso total y del 70 % del peso de pescado descabezado, eviscerado y sin espinas. La pulpa lavada se molió posteriormente en un homogenizador Osterizer ciclitol B, para obtener una pasta cruda tipo surimi, de bajo contenido graso (1 %), que se ajustó a un contenido de humedad igual al 80 %.

### Métodos

#### *Reología oscilatoria dinámica (ROD)*

Se utilizó un reómetro Rheolab MC20 (Physica Mebtechnik GmbH, Stuttgart), con un sistema de medida Z2 de dos cilindros concéntricos con capacidad para 100 g de muestra. El control de temperatura se efectuó mediante circulación de agua fría o caliente proveniente de un baño termostático modelo Viscotherm VT10. La deformación (g) seleccionada fue de 0,04 1/s y la frecuencia de oscilación 1 Hz y una amplitud de 3,24 mrad (Aguilera, 1995; Aguilera y Rojas, 1997). Las curvas obtenidas son el promedio de 4 repeticiones.

#### *Ensayos de compresión axial*

El ensayo de compresión axial en rango elástico, se realizó en geles cilíndricos de 11 mm de altura ( $\lambda_1$ ), obtenidos por calentamiento isotérmico (80 °C durante 40 min) y a los cuales se les aplicó una deformación ( $\epsilon = [\lambda_2 - \lambda_1] / \lambda_1$ ) de un 10 % correspondiente a una altura final de 9,9 mm ( $\lambda_2$ ), utilizando un texturómetro modelo TA.XT2 texture analyzer (Texture Technol. Corp., Scarsdale, NJ/Stable Micro Systems, Godalming, Surrey, UK) a una velocidad de deformación de 0,2 mm/s.

El esfuerzo de compresión ( $\sigma = F/A$ ; kPa/mm) se calculó como la fuerza máxima alcanzada en el intervalo elástico, dividida por el área de los geles. El módulo aparente de Young ( $E$ ) se obtuvo dividiendo  $\sigma$  por la deformación elástica ( $E = \sigma/\epsilon$ ; kPa/mm). Para este ensayo, la pasta de jurel fresca con y sin KCl (2%), se introdujo en tubos de vidrio (110 mm largo x 12,3 mm de diámetro) los cuales fueron puestos en un baño termostático, y posteriormente enfriados y almacenados a  $4 \pm 0,5$  °C durante la noche.

#### Calorimetría diferencial de Barrido (DSC)

Se pesó aproximadamente 20 mg de cada una de las muestras y se colocaron herméticamente selladas en una cápsula de aluminio. Se analizaron en un calorímetro diferencial DSC-7 Perkin-Elmer con un software estadístico para la determinación de las temperaturas y valores de entalpía. La velocidad de calentamiento y enfriamiento fue de 2 °C/min, dentro de un intervalo de temperatura entre 20 y 100 °C. Los resultados obtenidos correspondieron al promedio de 4 repeticiones  $\pm$  desviación típica.

### Experimentos

#### Efecto de la congelación en la capacidad de gelificación

Se realizó una primera experiencia para caracterizar reológicamente la gelificación de la pasta fresca tipo "surimi-raw" y compararla con otra porción de la misma pasta fresca mantenida a -23 °C durante tres meses en presencia sólo de crioprotectores y así apreciar el efecto de la congelación en la capacidad de gelificar. Los crioprotectores utilizados fueron: sorbitol 4%, sacarosa 4% y tripolifosfatos de sodio 0,2% (Fluka Chemika, Suiza). Se registraron las variaciones del módulo  $G'$  a la vez, que se calentó separadamente cada una de las pastas desde una temperatura inicial de 20 °C hasta una final superior a 80 °C.

#### Efecto de la adición de KCl en la gelificación de pasta de jurel sin congelar tipo surimi-raw

Para observar el efecto de la adición de KCl (grado analítico, Fluka Chemika, Suiza) en la gelificación de la pasta de jurel fresca sin congelar, se añadió a una porción de la pasta con un contenido de humedad de 80%, distintas cantidades de KCl (0, 0,5, 1 y 2%). Durante el calentamiento se controló mediante la molienda midiendo  $G'$  por RDO.

#### Efecto de la historia térmica en la gelificación de pasta de jurel sin congelar (surimi-raw)

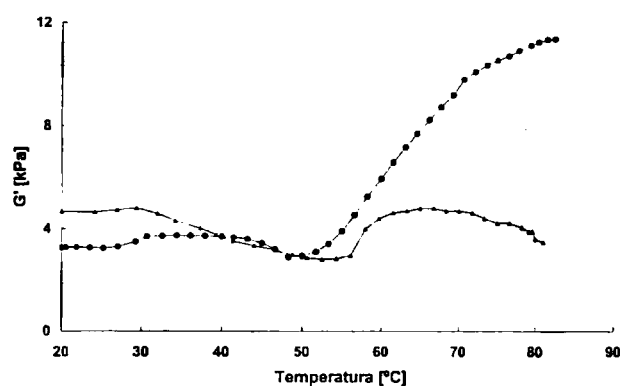
Se realizaron ciclos de calentamiento (20-80 °C) y enfriamiento (80-20 °C) en las muestras frescas de pasta

de jurel con un 2% de KCl y paralelamente se registraron las variaciones del módulo  $G'$  y  $E$  aparente. Además, se analizó mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC) el efecto en la desnaturalización de las proteínas miofibrilares por la adición de KCl y por el tipo de tratamiento térmico.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Efecto de la congelación en la capacidad de gelificación

El módulo de almacenamiento ( $G'$ ), registrado durante el calentamiento de pasta fresca de jurel sin aditivos y sin congelar (tipo "surimi-raw") disminuyó hasta los 50 °C, y en el intervalo de temperatura desde los 50 a los 80 °C aumentó hasta alcanzar un valor cercano a 12 kPa (Figura 1) etapa que caracterizó la formación de un gel irreversible. Por otro lado, durante el calentamiento de pasta de jurel previamente congelada (tipo surimi), el aumento de  $G'$  fue mucho menor para el mismo intervalo de temperatura, debido a que la congelación provocó una pérdida en la capacidad de formar geles lo suficientemente fuertes y estructurados. El efecto en las propiedades de las proteínas por la conservación en frío se ha descrito como el daño provocado en el sistema actomiosina, como consecuencia de la desnaturalización a bajas temperaturas. La desnaturalización en frío depende de una asociación de factores, tales como la temperatura, la velocidad de congelación, los crioprotectores, la formación de cristales, la acción lenta de enzimas proteolíticas, la deshidratación, o la actividad de agua (Montero *et al.* 1996; Borderías *et al.*



**Figura 1.** Variación de  $G'$  durante la gelificación de pasta de jurel fresca (●) y pasta de jurel congelada tipo surimi a -23 °C durante 3 meses (▲).

**Figure 1.** Variation in  $G'$  during gelation of fresh horse mackerel paste (●) and paste frozen at -23 °C for 3 months (▲).

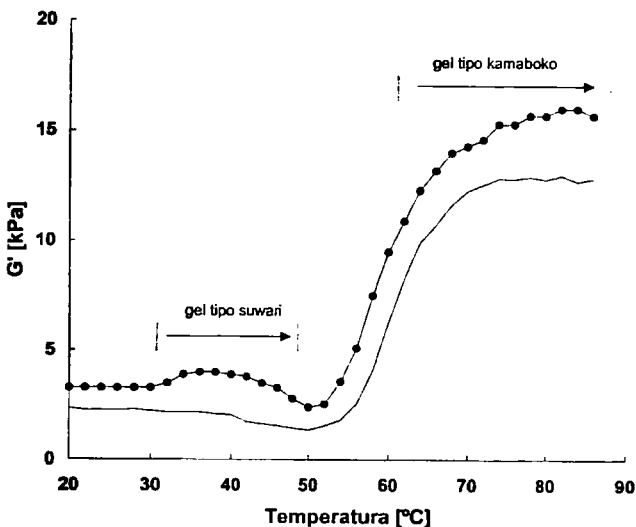
1996; Scott *et al.* 1988; Suzuki, 1987; Matsumoto, 1980; Sikorski *et al.* 1976).

### Efecto de la adición de KCl

El módulo  $G'$ , registrado durante la gelificación de la pasta fresca de jurel (tipo "surimi-raw") sin adición de KCl minutos antes de calentar no presentó mayores cambios a temperatura inferior a 50 °C, y disminuyó levemente (curva aplanada descendente) durante el inicio del calentamiento (Figura 1). Entre 55 y 80 °C, aumentó hasta un valor más o menos fijo ( $G'=12$  kPa) lo que indicó la formación de un gel de estructura estable e irreversible.

Por otro lado, la misma pasta fresca de jurel, pero con un 2,0 % de KCl (Figura 2), a temperatura baja (40 °C) presentó un prematuro, pero leve aumento en  $G'$ , que podría corresponder a la etapa de formación de un gel débil, tipo *suwari*. Posteriormente, al aumentar la temperatura,  $G'$  decayó, y, entre los 50 y 80 °C aumentó hasta un valor cercano a los 15 kPa, debido probablemente a que el KCl favoreció la estructura del gel proteico final.

Las variaciones de  $G'$ , en la pasta de jurel, son equivalentes a los típicos cambios de elasticidad que sufren las proteínas miofibrilares durante el proceso de asentamiento. En este proceso se forma un gel transitorio tipo *suwari* y un gel final irreversible, tipo "kamaboko". Los intervalos de temperatura en que se formaron am-



**Figura 2.** Variación de  $G'$  en el proceso de asentamiento y formación de un gel tipo kamaboko en pasta de jurel fresca con (●) y sin adición (—) de KCl (2%).

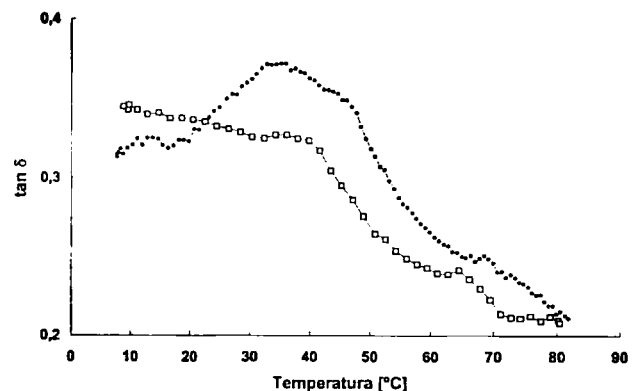
**Figure 2.** Variation in  $G'$  in the process of setting and formation of kamaboko-type gel in horse mackerel paste with (●) and without (—) addition of KCl (2%).

bos geles (20–40 °C y 55–80 °C, respectivamente), fueron similares a los indicados para otras especies de pescado con y sin aditivos (Chan y Paulson, 1993; Stone y Stanley, 1992; Hamann *et al.*, 1990; Sano *et al.*, 1989; Montero *et al.*, 1995; Montero *et al.*, 1996; Borderias *et al.*, 1996).

La presencia de la primera transición en  $G'$ , cerca de los 40 °C, involucra un proceso de despliegue de las proteínas (actomiosina) inducido por la sal lo que aumentaría la viscosidad del sistema (estado sol) y una posterior asociación intermolecular de los componentes proteicos de la pasta para producir un gel débil. La segunda transición correspondería a una asociación entre moléculas de miosina, diferentes proteínas (actina, tropomiosina) y dominios que complementarían la formación de la red elástica o gel kamaboko (Stone y Stanley, 1992).

La solubilización de las proteínas miofibrilares por la presencia de sal, también, favorece la calidad del gel final tipo kamaboko, que es mucho más estructurado y sus agregados están fuertemente unidos por un mayor número de interacciones hidrofóbicas, puentes de hidrógeno y disulfuros (Montero *et al.*, 1995; Chan y Paulson, 1993). La concentración del KCl adicionado a pasta fresca de jurel para que favorezca el proceso de asentamiento no debe exceder el 2,0 %, ya que valores mayores producen una caída de  $G'$ , debido a la inhibición de la gelificación (datos no presentados).

Según Ferry (1980), para un biopolímero idealmente viscoso se cumple que  $\delta = 90^\circ$  ( $\tan \delta = 1$ ), mientras que para un componente idealmente elástico  $\delta = 0^\circ$  ( $\tan \delta = 0$ ). Entre 40 y 55 °C los valores de la  $\tan \delta$  presentaron una tendencia igual que las transiciones de  $G'$  (Figura 3). La presencia de KCl en pasta de jurel produjo

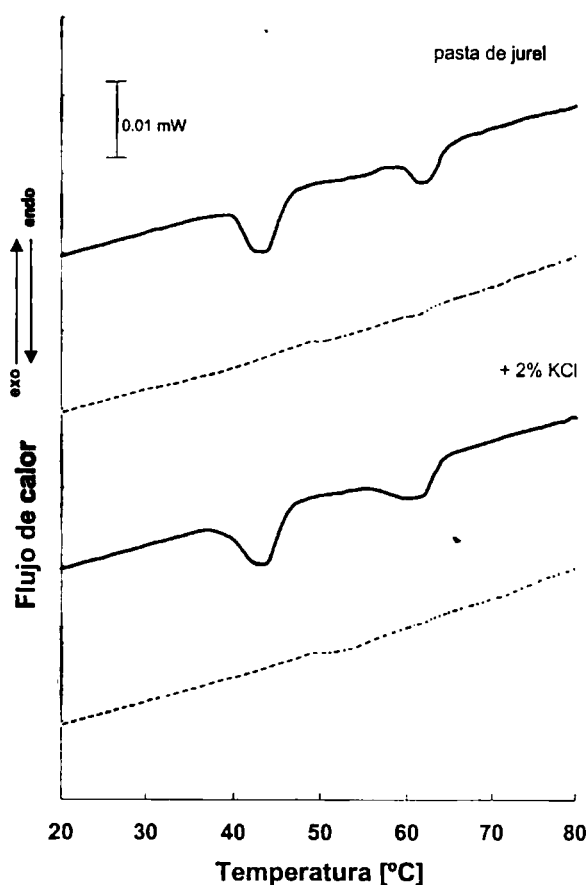


**Figura 3.** Variación de  $\tan \delta$  en el proceso de asentamiento y formación de un gel tipo kamaboko en pasta de jurel fresca (surimi-raw) con (●) y sin (□) adición de KCl (2%).

**Figure 3.** Variation in  $\tan \delta$  in the process of setting and formation of kamaboko-type gel in horse mackerel paste with (●) and without (□) addition of KCl (2%).

variaciones en la  $\tan \delta$  debido a cambios de fase caracterizados por una mayor curvatura, lo que indica la mayor solubilización inicial (predominando el estado viscoso) y posterior ordenamiento molecular del sistema (comportamiento elástico).

El análisis térmico (Figura 4) de la pasta de jurel fresca evidenció la desnaturalización de sus principales proteínas (miosina y actina). Las temperaturas de desnaturalización ( $T_d$ ) determinadas para la miosina y actina fueron 42 y 64 °C respectivamente, la mayor magnitud del área entálpica de miosina relacionada con la de actina confirma el papel principal de esta proteína en el proceso de gelificación (Wu *et al.*, 1985; Stone y Stanley, 1992). El incremento del área entálpica y la disminución de las  $T_d$  del complejo actomiosina, que conforma mayoritariamente la pasta de jurel, indica un



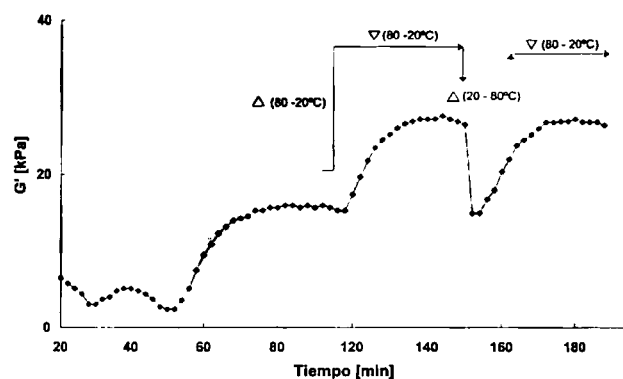
**Figura 4.** Curvas DSC que muestra las temperaturas de desnaturación ( $T_d$ ) de las proteínas que componen la pasta fresca de jurel (surimi-raw) con y sin adición de KCl, durante ciclos de calentamiento (—) y enfriamiento (- - -).

**Figure 4.** DSC thermograms showing the denaturation temperature ( $T_d$ ) of proteins conforming the fresh horse mackerel paste (surimi raw) with and without addition of KCl during heating (—) and cooling (- - -) cycles.

aumento de la termolabilidad de las proteínas, debida a la fuerza iónica generada por el KCl. Efectos semejantes, se han obtenido por la adición de diferentes sales (Raffo, 1993; Suzuki, 1987, Wu *et al.*, 1985).

### Efecto del tratamiento térmico

La pasta fresca de jurel (tipo "surimi-raw") con KCl (2,0 %), y sometida a ciclos térmicos de calentamiento y enfriamiento (20-80 °C y 80-20 °C, respectivamente) formó el gel tipo kamaboko en la primera etapa de calentamiento (20-80 °C), alcanzando  $G'$  un valor cercano a 12 kPa. Durante el enfriamiento (80-20 °C) del gel kamaboko se produjo un aumento del módulo  $G'$ , que equivale a una mayor elasticidad del sistema (Figura 5). Por otro lado, la calorimetría diferencial (Figura 4) no detectó una variación de entalpía durante el enfriamiento del gel kamaboko, por lo que no se pudo confirmar si este fenómeno implicó cambios de fase en el sistema proteico. El aumento y disminución del módulo  $G'$  por efecto de la aplicación de calor y frío fue un fenómeno reversible, debido a que, durante el enfriamiento, las moléculas proteicas ya agregadas se volverían a plegar sobre si mismas por la formación de puentes de hidrógeno dentro de la matriz del gel formado, después el calor rompería estas uniones para recuperarse la estructura inicial del gel tipo kamaboko (Montejano *et al.* 1983). También, con la disminución de temperatura podrían recuperarse uniones rotas durante el calentamiento como se ha observado, después de calentar y enfriar (25 °C) miosina y fragmentos de meromiosina pesada (HMM) de conejo, donde se recuperó más del 50 % de la estructura helicoidal inicial (Foegeding, 1988; Foegeding *et al.*, 1986).



**Figura 5.** Variación de  $G'$  durante ciclos de enfriamiento ( $\nabla$  80–20 °C) y calentamiento ( $\Delta$  20–80 °C) de pasta de jurel fresca (■ surimi-raw) con KCl (2%).

**Figure 5.** Variation in  $G'$  during cooling ( $\nabla$  80–20 °C) and heating ( $\Delta$  20–80 °C) cycles of fresh horse mackerel paste (■ surimi-raw) with KCl (2% p/ p).

La curva de gelificación de pasta de jurel fresca (surimi-raw) sin aditivos y sin congelar, en el calentamiento "lento" (40 °C, 60 min) se mantuvo más pronunciada que la curva de calentamiento "rápido" (90 °C x 20 min). Al aumentar la temperatura en el calentamiento "lento", desde 40 a 90 °C, mantenidos durante 20 min, se observó una disminución de  $G'$  (Figura 6) que se interpreta como un debilitamiento, por efecto del calor, de las uniones entre agregados proteicos formados durante el asentamiento. Al enfriar a 10 °C se produjo un nuevo aumento de  $G'$ , debido a la formación de puentes de hidrógeno y al plegamiento de la matriz sobre sí misma. Por otro lado, en el calentamiento rápido (90 °C, 20 min) la curva de gelificación se mantuvo constante y sólo al enfriar se produjo un aumento en  $G'$ , similar al del calentamiento lento. El módulo de Young aparente (E) de los geles obtenidos después de aplicar ambos tipos de calentamientos rápido y lento, indicó una mayor fuerza de gel para el calentamiento lento, 14 kPa/mm respecto a 11 kPa/mm al rápido, que coincidió con los valores de  $G'$ . Foegeding (1988) sugirió que las variaciones presentes en la matriz de los geles formados, se debían a la asociación de proteínas en diferentes estados de desnaturalización. La miosina por ser de naturaleza filamentosa posee multidominios de entrecruzamiento, lo que puede generar diferentes grados de textura. También, se ha visto que la aplicación de un asentamiento (35 °C) prolongado seguido del calentamiento a 90 °C, favorece la textura y la capacidad

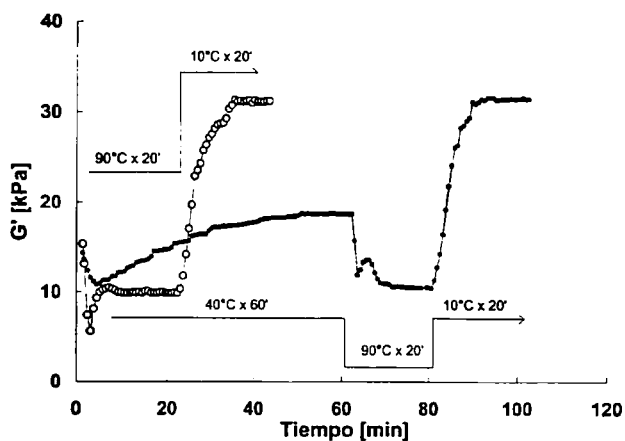
de retención de agua de geles de algunas especies de pescado (Tejada *et al.*, 1995), que coincide con los resultados de este trabajo. Además, se ha postulado que la velocidad de calentamiento influye marcadamente en la capacidad de gelificación de las proteínas (Doi, 1993; Aguilera y Stanley, 1990). Cuando el calentamiento se realiza rápidamente las moléculas proteicas miofilamentosas no tendrían el tiempo necesario para orientarse adecuadamente y formar la estructura del gel.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece el aporte de la Agencia Internacional de Desarrollo (AID, proyecto 513-5600-G-00-1062) y Fondecyt (proyecto 1930621) en la realización de este estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguad A. y Maureira P. (1989). El surimi; un avance en el desarrollo de la ingeniería en Alimentos. *Chile Pesquero* 55: 43-44.
- Aguilera J. M. y Stanley D. W. (1990). Microstructural principles of food processing and engineering. London: Elsevier Applied Science. pp. 161-190.
- Aguilera J.M. (1995). Gelation of whey proteins. *Food and Technology* 10: 83-89.
- Aguilera J.M. y Rojas G. (1997). Determination of kinetics of gelation kinetics of whey protein and cassava starch by dynamic oscillatory rheometry. *Food Research International* 5: 349-357.
- Bertelsen R. (1991). Efecto del tipo de enzima y tipo de músculo en la hidrólisis enzimática del jurel. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil en Industrias con mención en Química. Pontificia Univ. Católica de Chile, Santiago, Chile.
- Borderias J., Montero P. y Martí de Castro M.A. (1996). Gelling of hake (*Merluccius australis*) sawdust. *Food Science and Technology International* 2: 293-299.
- Chan J. y Paulson A. (1993). Thermal aggregation of myosin subfragments from cod and herring. *Journal of Food Science* 5: 1057-1061.
- Doi E. (1993). Gels and gelling of globular proteins. *Trends in Food Science and Technology* 4: 1-5.
- Ferry J.D. (1980). *Viscoelastic properties of polymers*. 3<sup>rd</sup> edn., New York: Wiley Sons, Inc. pp. 65-81.
- Foegeding E., Allen C. y Dayton, W. (1986). Effect of heating rate on thermally formed myosin, fibrinogen and albumin gels. *Journal of Food Science* 1: 104-112.
- Foegeding E. (1988). Thermally induced changes in muscle proteins. *Food and Technology* 6: 58-64.
- Gomez-Guillén C., Solas T., Montero P. y Borderias J. (1996). Effect of heating temperature and sodium chloride concentration on ultrastructure and texture of gels made from giant squid (*Dosidicus gigas*) with addition of starch, k-carrageenan and egg white. *Zeitschrift. für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung* 202: 221-227.
- Hamann D., Amato P., Wu M. y Foegeding A. (1990). Inhibition of modori (gel weakening) in surimi by plasma hidrolisate and egg white. *Journal of Food Science* 3: 665-669.



**Figura 6.** Variación del módulo  $G'$  para dos tipos de calentamiento: Calentamiento rápido (○ 90 °C, 20 min) y calentamiento lento en dos etapas (● 40 °C, 60 min y luego 90 °C, 20 min), ambos métodos con enfriamiento final de 10 °C durante 20 min.

**Figure 6.** Variation in  $G'$  and for two types of heating: fast heating (○ 90 °C, 20 min) and slow heating in two stages (● 40 °C, 60 min and then 90 °C, 20 min), both followed by final cooling to 10 °C for 20 min.

- Matsumoto, J. (1979). Denaturation of fish muscle protein during frozen storage. En: Whitaker J.R. (ed.), *Protein at low temperature*. Advances in Chemistry Series 180. Washington D.C.: ACS. pp. 205–224.
- Matsumoto J. (1980). Chemical deterioration of muscle protein during frozen storage. En: J.R. Whitaker (ed.) *Chemical deterioration of proteins*. Advances in Chemistry Series 123. Washington D.C.: ACS. pp. 95–124
- Montejano J. (1983). Final strengths and rheological changes during processing of thermally induced fish muscle gels. *Journal of Rheology* 27: 557.
- Montero P. y Gomez-Guillén M.C., (1995). Thermal aggregation of sardine muscle proteins during processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 44: 3625–3630.
- Montero P., Gomez-Guillén M.C. y Borderias J. (1996). Influence of subspecies, season and stabilization procedures in gel-forming ability of frozen minced muscle of sardine (*Sardina pilchardus*). *Food Science and Technology International* 2: 111–122.
- Niwa E. (1992). Chemistry of surimi gelation. En: Lanier, T. C., Lee, C. M. (eds), *Surimi Technology*. New York: Marcel Dekker Inc. pp. 389–420.
- Okada M. (1992). History of surimi technology in Japan. En: Lanier T. C. y Lee C. M. (eds), *Surimi Technology*. New York: Marcel Dekker Inc. p. 4–5.
- Regenstein, J. (1986). The potential for minced fish. *Food Technology* 3:101–106.
- Raffo A. (1993). *Propiedades mecánicas de geles surimi/kappa-carragenato*. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil en Industrias con mención en Química. Pontificia Univ. Católica de Chile, Santiago, Chile.
- Sano T., Noguchi S., Matsumoto J. y Tsuchiya T. (1989). Role of actin in thermal gelation of fish actomyosin. *Journal Food Science* 1: 164–167.
- Scott D., Porter R., Kudo G., Miller R. y Koury B. (1988). Effect of freezing and frozen storage of Alaska pollack on the chemical and gel-forming properties of surimi. *Journal of Food Science* 2: 352–358.
- Sikorski Z., Olley J. y Kostuch, S., (1976). Protein changes in frozen fish. *CRC Critical Reviews in Foods Science and Nutrition* 1: 97–129.
- Stone A.P. y Stanley D.W. (1992). Mechanism of fish muscle gelation. *Food Research International* 25: 381–388.
- Suzuki T. (1987). *Tecnología de las proteínas de pescado y krill*, Zaragoza, España: Editorial Acribia pp. 94–100.
- Tejada M., Alvarez C., Martín O. y Barbosa-Cánovas G. (1995). Influencia del tratamiento térmico y la humedad en la calidad de los geles de surimi de tilapia. *Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos* 3: 297–312.
- Wu M. Lanier T. T. y Hamann D. (1985). Thermal transitions of admixed starch/ fish protein systems during heating. *Journal of Foods Science* 58: 164–167.