



# Composición proximal y propiedades funcionales del surimi liofilizado de *Dosidicus gigas* “calamar gigante”

Proximal composition and functional properties of lyophilized surimi of *Dosidicus gigas* “jumbo squid”

Armando Solari-Godiño<sup>1</sup>; Javier S. Córdova-Ramos<sup>2, \*</sup>; Silvia Pilco-Quesada<sup>3</sup>; Luz M. Cerrón-Mallqui<sup>2</sup>; Miguel Albrecht-Ruiz<sup>1</sup>; Jorge Sánchez Hernández<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Dirección General de Investigaciones Tecnológicas para la Transformación Pesquera. Instituto Tecnológico de la Producción - ITP. Carretera a Ventanilla Km. 5.2, Callao, Perú.

<sup>2</sup> Escuela de Ciencia de los Alimentos. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Av. Universitaria /Calle Germán Amézcaga 375, Lima, Perú.

<sup>3</sup> Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, Carretera Central Km. 19 Ñaña, Lima 15, Perú

<sup>4</sup> CITE Pesquero-Callao. Instituto Tecnológico de la Producción - ITP. Carretera a Ventanilla Km. 5.2, Callao, Perú.

Received November 13, 2016. Accepted March 19, 2017.

### Resumen

El propósito de la investigación fue determinar la composición proximal y propiedades funcionales del surimi liofilizado de calamar gigante (*Dosidicus gigas*). Se elaboró surimi a partir de calamar gigante y fue liofilizado hasta obtener surimi en polvo para evaluar sus características y propiedades funcionales. El contenido de proteínas fue 58,7% y carbohidratos 30,5%. La solubilidad proteica en agua y sal (3%) fueron 21,1% y 40,6% respectivamente, siendo estos valores superiores a surimi en polvo de especies comerciales. La capacidad de gelificación fue 2,4% y la capacidad emulsificante fue 79,9% a una concentración del 1,0%. El color en la escala de Hunter fue L\*: 91,5; a\*: 0,5; b\*:7,0. El surimi en polvo de calamar gigante fue considerado como un polvo proteico funcional debido a su contenido porcentual proteico, y tuvieron buenas características tecnológicas y de gran potencial en la industria alimentaria.

**Palabras clave:** surimi; calamari gigante; *Dosidicus gigas*; propiedades funcionales proteicas.

### Abstract

The purpose of the research was to determinate proximal composition and functional properties of the giant squid freeze-dried surimi (*Dosidicus gigas*). Surimi elaborated from giant squid and it lyophilized until obtaining surimi powder to evaluate its characteristics and functional properties. The protein content was 58.7% and carbohydrate 30.5%. Protein solubility in water and salt (3%) were 21.1% and 40.6% respectively, these values being higher than surimi powder of commercial species. The gelling capacity was 2.4% and the emulsifying capacity was 79.9% at a concentration of 1.0%. The color on the Hunter scale was L\*: 91.5; a\*: 0.5; b\*: 7.0. Giant squid powder surimi considered as a functional protein powder due to its percentage protein content, and had good technological characteristics and great potential in the food industry.

**Keywords:** surimi; jumbo squid; *Dosidicus gigas*; protein functional properties.

## 1. Introducción

Generalmente, el surimi es elaborado en base a lavados sucesivos de carne picada de pescado con fines de eliminar el sabor, olor, color y concentrar proteínas miofibrilares (Moreno *et al.*, 2016). Mayormente se utiliza como materia prima

para la elaboración de diversos productos alimenticios, como por ejemplo, análogos marinos, patas de cangrejo, camarones, análogos cárnicos y productos variados tales como hamburguesas, salchichas y tortillas (Ramírez *et al.*, 2011). Esta diversidad de productos marinos está estre-

\* Corresponding author  
E-mail: [jcordovar1@unmsm.edu.pe](mailto:jcordovar1@unmsm.edu.pe) (J.S. Córdova-Ramos).

chamente ligada a las propiedades funcionales de las proteínas que tiene el surimi, tales como: gelificación, poder emulsificante, capacidad de retención de agua (CRA), entre otras que amplía su espectro de usos y potencialidades en la industria alimentaria (Moreno *et al.*, 2016). En el Perú, se viene desarrollando la elaboración de surimi a partir de calamar gigante (*Dosidicus gigas*) a nivel semi-industrial. La pota o calamar gigante, es un recurso hidrobiológico abundante en nuestro país y debido al color blanco de su músculo es muy requerido en la industria alimentaria. Para dicha manufactura es imprescindible contar con equipos de congelación adecuados, para garantizar la calidad del producto durante el proceso, almacenamiento y transporte, evitando las fluctuaciones térmicas que causen deterioro de las proteínas y por ende afecten su funcionalidad de estas (Galla *et al.*, 2012). Noruega, Japón y China vienen utilizando tecnologías que permiten tener alimentos funcionales pulverizados, de fácil almacenamiento y con valores bajos de actividad de agua, con fines de evitar pérdidas económicas por deterioro. Este producto es de fácil almacenamiento y económico frente a los productos congelados (Wahl *et al.*, 2016; Huda *et al.*, 2001).

En este sentido, la técnica de liofilización presenta la ventaja de no afectar severamente la funcionalidad de las proteínas como otras técnicas de deshidratación lo hacen, por tanto, se utilizarían para mezclas secas rehidratables (Wahl *et al.*, 2016). Este tipo de tecnología es muy poco utilizado en nuestro país, de modo que realizar este proceso es aún costoso; no obstante, muchos países vienen trabajando a fin de lograr el costo-beneficio a partir del cual consideramos que en un futuro cercano ésta tecnología será accesible para la industria alimentaria.

El objetivo del trabajo fue determinar la composición química proximal y las propiedades funcionales del surimi liofilizado de calamar gigante con la finalidad de conocer su potencial y aplicaciones que

puede desde ya repercutir en la industria pesquera y alimentaria.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1 Preparación de muestra

Tres kilogramos de filete procedentes de manto fresco de calamar gigante (*Dosidicus gigas*), fueron sumergidos en solución ácida-salina fría (2 °C) (NaCl grado reactivo 1% / ácido cítrico grado reactivo 0,5%) en una proporción 1:3; se enjuagaron con agua fría ajustándose el contenido de humedad hasta 75% aproximadamente, se trituraron los filetes en un cortador-mezclador añadiéndose agentes crioprotectores (azúcar 6% y polifosfato de sodio 0,3%), luego se congeló a -30 °C hasta su uso. El surimi congelado fue liofilizado en un equipo Labconco® a una presión de vacío 0,08 mbar, temperatura de colector de -85 °C por 15 horas aproximadamente obteniéndose un producto deshidratado que fue pulverizado denominándosele surimi en polvo de calamar gigante (SP). El producto fue empacado, sellado al vacío y conservado en refrigeración (4 – 6 °C) hasta su uso.

### 2.2 Análisis Proximal

Para la realización de los análisis químicos se utilizaron 500 g de muestra. El análisis proximal de las muestras surimi en polvo (SP) y surimi congelado (SC) se efectuó según la metodología propuesta por la AOAC (2000). Respecto a la determinación de la actividad de agua, se efectuó directamente en un analizador Aqualab Pre (Decagon Devices Inc, SN: PRE000199, USA).

### 2.3 Solubilidad en agua destilada y solución salina

Un gramo de SP con 40 mL solución salina al 3%, se agitaron por 2 minutos en vórtex (WISD, VM-10) la mezcla fue centrifugada (EPPENDORF, 5804R, ALEMAN) a 6280 g (6280 veces la gravedad) por 2 minutos. Se colectó el sobrenadante para la determinación de proteínas por el método de Kjeldahl (con factor proteico de 6,25).

Para el caso de la solubilidad en agua se realizó el mismo procedimiento, pero sin la adición de sal de acuerdo a lo descrito por Ghribi *et al.* (2015) con algunas modificaciones.

#### **2.4 Capacidad de retención de agua (CRA)**

Se agitaron en un tubo de centrífuga de 50 mL un gramo de SP con 40mL de agua destilada por 5 minutos, esta mezcla fue luego centrifugada a temperatura ambiente a 7500 g (7500 veces la gravedad) por 5 minutos. El sobrenadante fue vertido en una probeta de 50 mL. El cálculo de la CRA fue estimado en base a la diferencia entre el volumen inicial y el sobrenadante obtenido luego de la centrifugación. El resultado fue reportado en base a mililitros de agua retenida por gramo de proteína (Miller y Groninger, 1976).

#### **2.5 Capacidad de Gelificación**

Concentraciones de SP entre 1 y 10% en 10 mL de agua destilada fueron agitadas en tubos por 5 minutos. Los tubos fueron calentados en baño maría a 90 °C por 30 minutos y luego colocados en agua fría (4-6 °C) por 30 minutos. La capacidad de gelificación fue calculada tomando la mínima concentración añadida en la cual la solución proteica contenida en los tubos no drenó ni cayó cuando se invirtieron en su posición de acuerdo a lo reportado por Berhout *et al.* (2015) con algunas modificaciones.

#### **2.6 Capacidad emulsificante y estabilidad de la emulsión**

Se utilizaron diferentes concentraciones en el rango de 0 a 2% de SP de acuerdo a lo recomendado por Taheri *et al.* (2013) con algunas modificaciones. Se añadió primero 25 mL de agua a temperatura ambiente y luego SP, luego se vertió cuidadosamente 25 mL de aceite vegetal de maíz a la licuadora a 10000 rpm por 1 minuto. Posteriormente, la emulsión fue centrifugada a 7500 g por 5 minutos. El cálculo de la capacidad emulsificante se realizó dividiendo el volumen de la emulsión

después de centrifugar entre el volumen inicial de la emulsión multiplicada por 100. Para la evaluación de la estabilidad de la emulsión, se realizó el mismo procedimiento, pero antes de centrifugar la muestra, se calentó a 90 °C durante 30 minutos y posteriormente se dispuso en un baño de agua fría (4 °C) por 10 minutos.

#### **2.7 Capacidad espumante**

Se vertió 100 mL de agua destilada a una licuadora con 1 gramo de SP y se agitó a 10 000 rpm durante 1 minuto. La mezcla fue vertida en probetas graduadas de 250 mL. La capacidad espumante fue calculada como el volumen de la mezcla luego del licuado comparado con el volumen original de acuerdo a lo reportado por Shahidi *et al.* (1995) con algunas modificaciones.

#### **2.8. Determinación de color**

Se utilizó un colorímetro (NIPON DENSOKU, modelo ZE-2000, Japón) y la escala propuesta por Hunter siendo L\*, a\* y b\* los valores considerados para el cálculo de blancura (Binsi *et al.*, 2017).

### **3. Resultados y discusión**

#### **3.1 Composición proximal y actividad de agua (Aw)**

La Tabla 1 muestra las composiciones proximales de SC y SP. En SP las proteínas y carbohidratos representaron 58,7% y 30,5% respectivamente. El contenido de carbohidratos proviene de la adición de los crioprotectores (8%), que en el proceso de liofilización se ve incrementado al disminuir el agua. Montejano *et al.* (1994) reportaron resultados similares en carbohidratos para trucha y tilapia con 30,7% y 33,5% respectivamente, por la adición de sacarosa al 8%. El efecto crioprotector sirve también en el proceso de liofilización; muchos autores reportan los efectos benéficos de los crioprotectores durante la sublimación del agua congelada que podría ser perjudicial para la estructura proteica en una fase denominada cristalización (Wahl *et al.*, 2016).

La marcada reducción del contenido de humedad de SP (4,9%) comparado con SC (73,1%) favorecería una disminución considerable del volumen (Jeyakumari *et al.*, 2014). El valor de actividad de agua ( $A_w$ ) del SP fue 0,33; este valor disminuye de manera considerable las reacciones enzimáticas que pudieran ocurrir en SC ( $A_w$  0,98), siendo por tanto menor el riesgo de contaminación por microorganismos (Intarasirisawat *et al.*, 2015). Ambas acciones incrementarían el tiempo de vida útil del SP (Jiménez-Martín *et al.*, 2015).

**Tabla 1**

Composición proximal de surimi de pota en polvo (SP) y surimi de pota congelado (SC)

Propiedad	SC (%)	SP (%)
Humedad	73,1 ± 2,50	4,9 ± 1,00
Grasa	-	1,5 ± 0,50
Ceniza	0,7 ± 0,00	4,4 ± 0,90
Proteína	17,7 ± 0,80	58,7 ± 2,10
Carbohidratos*	7,9 ± 0,50	30,5 ± 1,50
$A_w$	0,98 ± 0,01	0,33 ± 0,04

\*Calculado por diferencia.

### 3.2 Solubilidad proteica

En el surimi, la solubilidad de las proteínas miofibrilares es una propiedad funcional que contribuye a la formación y estructuración de geles proteicos que sirven para la elaboración de embutidos y productos reestructurados cárnicos (Leyva-Mayorga *et al.*, 2002, Moreno *et al.*, 2016). Los cambios en la solubilidad se deben a la desnaturalización durante el almacenamiento en congelación, e involucran interacciones intermoleculares que disminuyen la fracción miofibrilar (de la Fuente-Betancourt *et al.*, 2008).

Los resultados obtenidos para la solubilidad proteica del SP realizados en agua y en solución salina al 3% fueron 21,1% y 40,6% respectivamente. Estos resultados sugieren que las proteínas miofibrilares del SP mantienen sus propiedades intrínsecas, al incrementar notablemente su solubilidad en la solución salina. En cambio, en el surimi de pescado en polvo presentó solubilidades de 9,8% y 10,3% en agua y solución salina respectivamente; estos bajos valores son

atribuidos a la desnaturalización de proteínas miofibrilares por efecto de la sublimación durante el liofilizado o al uso insuficiente e inadecuado de los agentes crioprotectores (Zhou *et al.*, 2006), como consecuencia existió una disminución en la solubilidad proteica debido a la aparición de puentes intermoleculares del tipo hidrofóbico e hidrógeno así como puentes bisulfuro e interacciones iónicas entre moléculas proteicas, Campo-Deaño *et al.*, 2010; Wahl *et al.*, 2016).

### 3.3 Capacidad de retención de agua (CRA)

En este estudio la CRA fue 21,8 mL/g de proteína, ligeramente mayor a lo reportado en especies de pescado *Nemipterus japonicus* y *Priacanthus tayenus* siendo sus valores 19,5 y 19,7 mL/g de proteína respectivamente (Campo-Deaño *et al.*, 2009). La capacidad de las proteínas para inmovilizar agua es una propiedad funcional muy aplicada en la industria alimentaria y de ella depende la interacción proteína-proteína y agua-proteína en sistemas alimentarios tales como dispersiones coloidales y geles (Sánchez-Alonso *et al.*, 2007; Moreno *et al.*, 2016). Estas interacciones son importantes aun cuando se trata de productos deshidratados pulverizados ya que la molécula proteica debe conservar de manera activa los sitios de enlace con el agua, para rehidratarse y ligar el agua.

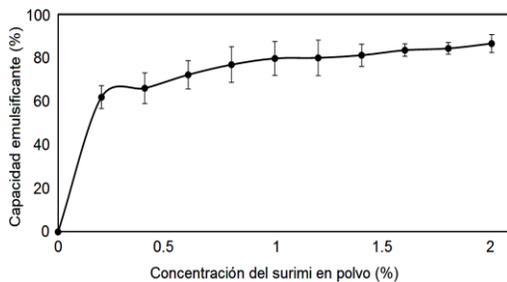
### 3.4 Gelificación

La formación de un gel proteico involucra generación de redes tridimensionales de polímeros entrelazados que atrapan una gran cantidad de agua, dándole a toda la estructura características parecidas a un sólido (Berghout *et al.*, 2015; Yang *et al.*, 2012). Esta propiedad es muy importante en emulsiones alimentarias por su capacidad de generar geles a partir de fases acuosas (Konno *et al.*, 2003). La capacidad de gelificación en SP fue 2,4% siendo este valor promedio para el SP de diferentes especies marinas tal como reporta Campo-Deaño *et al.* (2010), no obstante, en la

determinación de proteínas de dicho estudio refieren un valor promedio de 73% mientras que en este estudio el valor fue 58,7%, lo que significa que hay un menor contenido proteico para la misma capacidad de gelificación.

**3.5 Capacidad emulsificante y estabilidad de la emulsión**

La Figura 1 muestra la capacidad emulsificante del SP en concentraciones entre 0 y 2% (p/p). Se observa un rápido incremento de la capacidad emulsificante en relación a la concentración, mostrando un 80% de capacidad emulsificante a una concentración del 1%. Estos resultados son parecidos a los reportados por Campo-Deaño *et al.* (2010) siendo los valores de 85% y 87% para las especies *Nemipterus japonicus* y *Priacanthus tayenus* respectivamente. Sin embargo, para el surimi liofilizado de *Saurida tumbil* reportaron valores inferiores capacidad emulsificante (25% a una concentración proteica de 1%), atribuyéndole esta característica a la baja estabilidad de la proteína miofibrilar durante la etapa de congelación. Es necesario resaltar que el SP de calamar gigante presenta mejores propiedades en su capacidad y estabilidad emulsionante debido a las características particulares de solubilidad de la proteína en soluciones acuosas de baja fuerza iónica que permitirían que una menor cantidad de proteínas interactúe con el aceite y por ende mejore las propiedades de emulsificación (Li *et al.*, 2015).



**Figura 1.** Efecto de la concentración de surimi en polvo de calamar gigante sobre su capacidad emulsificante.

**3.6 Capacidad espumante**

En la Tabla 2 se muestra los resultados de las propiedades funcionales. La capacidad espumante fue 44,3%, valor superior a lo reportado por Campo-Deaño *et al.* (2010) para *Saurida tumbil*, *Nemipterus japonicus* y *Priacanthus tayenus* obteniéndose el valor más elevado (34,6%) para *Nemipterus japonicus*. Esto sugiere que el SP de calamar gigante presenta ventajas en sus propiedades espumantes que podrían utilizarse en la industria alimentaria. De la Fuente-Betancourt *et al.* (2008) demostró que la estabilidad de la espuma de las proteínas de calamares es tres o cuatro veces mayor que la albúmina.

**Tabla 2**

Valores de las propiedades funcionales del surimi de calamar gigante

Propiedad funcional	Valor
Capacidad de retención de agua (mL/g proteína)	21,8 ± 2,1
Capacidad de gelificación (%)	2,4 ± 0,1
Solubilidad proteica (en NaCl al 3%) (%)	40,6 ± 2,3
Solubilidad proteica (en agua) (%)	21,1 ± 2,1
Capacidad espumante (%)	44,3 ± 1,2

**3.7 Color**

Finalmente, el color del surimi en polvo del calamar gigante mostró ser más claro y con menores valores de tendencia al color amarillo (Tabla 3) comparado con el de otras especies *Saurida tumbil*, *Nemipterus japonicus* y *Priacanthus tayenus* (Campo-Deaño *et al.*, 2010) debido principalmente a las características de la materia prima que es de color blanco.

**Tabla 3**

Valores de color Lab del surimi en polvo de calamar gigante y otras especies marinas comerciales

Surimi en Polvo	L*	a*	b*
Lizardfish <sup>(a)</sup>	85,59	0,30	16,38
Threadfin bream <sup>(a)</sup>	89,57	0,19	12,22
Purple-spotted bigeye <sup>(a)</sup>	88,33	0,23	13,16
Calamar gigante	91,5±0,5	0,5±0,04	7,0±0,7

<sup>(a)</sup> Huda *et al.* (2001).

L\*: claridad, a\*: tendencia al rojo y b\*: tendencia al amarillo.

Esta característica sensorial facilitaría la adición de este concentrado proteico funcional a muchos alimentos ayudando a mejorar su apariencia siendo este factor uno de los criterios más importantes que los consumidores utilizan para juzgar la conveniencia, calidad y seguridad de los alimentos (Konno *et al.*, 2003).

#### 4. Conclusiones

Las propiedades funcionales más sobresalientes en el surimi en polvo de calamar gigante fueron: capacidad gelificante ( $2,4 \pm 0,1\%$ ), capacidad de formación de espuma ( $44,3 \pm 1,2\%$ ) y solubilidad proteica en NaCl ( $40,6 \pm 2,3\%$ ); teniendo un gran potencial en la industria alimentaria como un sucedáneo marino de gran valor nutricional.

#### Referencias bibliográficas

- AOAC. 2000. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists (17th ed.). DC: Washington. EEUU.
- Berghout, J.; Boom, R.; Van der Goot, A. 2015. Understanding the differences in gelling properties between lupin proteins isolate and soy protein isolate. *Food Hydrocolloids* 43: 465-472.
- Binsi, P.; Nayak, N.; Sarkar, P.; Jeyakumari, A.; Muhamed Ashraf, P.; Ninan, G.; Ravishankar, C. 2017. Structural and oxidative stabilization of spray dried fish oil microencapsulates with gum arabic and sage polyphenols: Characterization and release kinetics. *Food Chemistry* 219: 158-168.
- Campo-Deaño, L.; Tovar, C.; Pombo, M.; Solas, M.; Borderías, A. 2009. Rheological study of giant squid surimi (*Dosidicus gigas*) made by two methods with different cryoprotectants added. *Journal of Food Engineering* 94(1): 26-33.
- Campo-Deaño, L.; Tovar, C.; Borderías, J. 2010. Effect of several cryoprotectants on the physicochemical and rheological properties of suwari gels from frozen squid surimi made by two methods. *Journal of Food Engineering* 97(4): 457-464.
- de la Fuente-Betancourt, G.; García-Carreño, F.; Navarrete del Toro, M.; Pacheco-Aguilar, R.; Córdova-Murueta, J. 2008. Effect of storage at 0 °C on mantle proteins and functional properties of jumbo squid. *International Journal Food Science and Technology* 43: 1263-1270.
- Galla, N.; Pamidighantam, P.; Akula, S.; Karakala, B. 2012. Functional properties and in vitro antioxidant activity of roe protein hydrolysates of *Channa striatus* and *Labeo rohita*. *Food Chemistry* 135(3): 1479-1484.
- Ghribi, A.; Gafsi, I.; Blecker, C.; Danthine, S.; Attia, H.; Besbes, S. 2015. Effect of drying methods on physicochemical and functional properties of chickpea protein concentrates. *Journal of Food Engineering* 165: 179-188.
- Huda, N.; Abdullah, A.; Salam, A. 2001. Functional properties of surimi powder from three marine fish. *Journal of Food Science and Technology* 36: 401-406.
- Intarasirisawat, R.; Benjakul, S.; Vissessanguan, W.; Maqsood, S.; Osako, K. 2015. Skipjack roe protein hydrolysate combined with tannic acid increases the stability of fish oil upon microencapsulation. *European Journal of Lipid Science and Technology* 117(5): 646-656.
- Jeyakumari, A.; Kothari, D.; Venkateshwarlu, G. 2014. Microencapsulation of fish oil-milk based emulsion by spray drying: Impact on Oxidative Stability. *Fishery Technology* 51(1): 31-37.
- Jiménez-Martín, E.; Gharsallaoui, A.; Pérez-Palacios, T.; Carrascal, J.; Rojas, T. 2015. Volatile compounds and physicochemical characteristics during storage of microcapsules from different fish oil emulsions. *Food and Bioproducts Processing* 96: 52-64.
- Konno, K.; Young-ie, C.; Yoshioka, T.; Shinho, P.; Seki, N. 2003. Thermal denaturation and autolysis profile of myofibrillar proteins of mantle muscle of jumbo squid *Dosidicus gigas*. *Fisheries Science* 69: 204-209.
- Leyva-Mayorga, M.; Ramírez, J.; Martín-Polo, M.; Hernández, H.; Vázquez, M. 2002. Empleo de su surimi liofilizado en emulsiones cárnicas con bajo contenido de grasa. *Ciencia Tecnológica Alimentaria* 3(5): 288-294.
- Li, J.; Xiong, S.; Wang, F.; Regenstein, J.; Liu, R. 2015. Optimization of microencapsulation of fish oil with gum arabic/casein/beta-cyclodextrin mixtures by spray drying. *Journal of Food Science* 80(7): 1445-1452.
- Miller, R.; Groninger, H. 1976. Functional properties of enzyme modified acylated fish protein derivatives. *Journal of Food Science* 41: 268-272.
- Montejano, J.; Morales, O.; Díaz, S. 1994. Rheology of gels of freeze-dried surimi of trout (*Cyanoscion nothus*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 34: 165-167.
- Moreno, H.; Herranz, B.; Pérez-Mateos, M.; Sánchez-Alonso, I.; Borderías, J. 2016. New Alternatives in Seafood Restructured Products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 56(2): 237-248.
- Ramírez, J. A.; Uresti, R. M.; Velázquez, G.; Vázquez, M. 2011. Food hydrocolloids as additives to improve the mechanical and functional properties of fish products: A Review. *Food Hydrocolloids* 25: 1842-1852.
- Sánchez-Alonso, I.; Careche, M.; Borderías, A. J. 2007. Method for producing a functional protein concentrate from giant squid (*Dosidicus gigas*) muscle. *Food Chemistry* 100: 48-54.
- Shahidi, F.; Xiao-Qing, H.; Synowiecki, J. 1995. Production and characteristics of protein hydrolysates from capelin (*Mallotus villosus*). *Food Chemistry* 53: 285-293.
- Taheri, A.; Anvar, S.; Ahari, H.; Fogliano, V. 2013. Comparison the functional properties of protein hydrolysates from poultry byproducts and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) viscera. *Iranian Journal of Fisheries Sciences* 12(1): 154-169.
- Wahl, V.; Khinast, J.; Paudel, A. 2016. Lyophilized Protein Powders: A Review of Analytical Tools for Root Cause Analysis of Lot-to-Lot Variability. *Trends in Analytical Chemistry* 82: 468-491.
- Yang, Y.; Anvari, M.; Pan, C.; Chung, D. 2012. Characterisation of interactions between fish gelatin and gum arabic in aqueous solutions. *Food Chemistry* 135(2): 555-561.
- Zhou, A.; Benjakul, S.; Pan, K.; Gong, J.; Liu, X. 2006. Cryoprotective effects of trehalose and sodium lactate on tilapia (*Sarotherodon nilotica*) surimi during frozen storage. *Food Chemistry* 96: 96-103.