

FUNCIONES BIOACTIVAS DE PÉPTIDOS DERIVADOS DE PROTEÍNAS HIDROLIZADAS DE PESCADO: APLICACIÓN EN LA NUTRICIÓN PORCINA. REVISIÓN

BIOACTIVE ACTIVITIES OF FISH PROTEIN HYDROLYSATES DERIVED PEPTIDES: USE IN SWINE NUTRITION. A REVIEW

*Richard Mudarra**

¹Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Zootecnia. Panamá (richard.mudarra@up.ac.pa)
<https://orcid.org/0000-0002-4927-1202>)

*Correo de Correspondencia: richard.mudarra@up.ac.pa

Recibido:10/02/2022

Aceptado:10/05/2022

RESUMEN. El consumo mundial de pescado ha alcanzado un ritmo significativamente superior al incremento demográfico durante los mismos años, reflejado un mayor nivel de desechos obtenidos de los sistemas de transformación en la industria pesquera. Una proporción significativa de estos desechos se transforman en harina, aceite y ensilaje de pescado debido a su potencial como fuentes proteicas de alto valor biológico. Adicional, las proteínas hidrolizadas están siendo una tendencia en los últimos años, ya que además de ser una excelente fuente de aminoácidos, permiten la aplicación de procesos de hidrólisis para la obtención de péptidos bioactivos. Los péptidos bioactivos derivados del pescado tienen diferentes funciones fisiológicas. Estas funciones, determinadas por la estructura peptídica, están asociadas principalmente a la señalización celular, provocando cambios estructurales, moleculares y celulares con efectos biológicos, tales como antioxidante, antimicrobial e inmunomodulador. Evidencias científicas indican beneficios de la inclusión de proteínas hidrolizadas de pescado en dietas para cerdos sobre el desempeño productivo en comparación con otras fuentes proteicas de origen vegetal o animal, no sometidas previamente a un proceso de hidrólisis. La utilización de hidrolizados proteicos derivados del pescado y la tendencia en la obtención de péptidos específicos prometen un alto impacto en la nutrición porcina, como también una herramienta para el aprovechamiento de subproductos de desechos. Se hace necesario el estudio de otras posibles funciones de los péptidos derivados de proteínas hidrolizadas y sus niveles de inclusión en las dietas para cerdos.

PALABRAS CLAVE: proteína, harina de pescado, hidrolizados, cerdos, péptidos.

ABSTRACT. The global consumption of fish has reached a rate significantly higher than the increase in world demographics during the same years, reflecting increases in the levels of waste derived from the transformation systems of fishing industry. A significant proportion of the waste from world fisheries production is transformed into fishmeal, oil, and fish silage due to its potential as products of high biological value. In addition, protein hydrolysates have been a trend in recent years, besides being an excellent source of amino acids, hydrolysis processes are positively applicable to obtain bioactive peptides. Bioactive peptides derived from fish have different physiological functions. These functions, determined by the peptide structure, are mainly associated with cell signaling; causing structural, molecular and cellular changes that create a biological effect, such as antioxidants, antimicrobials and immunomodulators. Scientific evidence indicates benefits of the inclusion of fish proteins hydrolysates in pig diets on performance in comparison to other protein sources from vegetable or animal origin not previously subjected to a hydrolysis process. The use of protein hydrolysates derived from fish and the trend in obtaining specific peptides promise a high impact on feed efficiency in pig nutrition, as well as a tool in the use of waste by-products. It is necessary the study of other possible functions of peptide derived from hydrolyzed proteins and their inclusion levels in pig diets.

KEYWORDS: protein, fish meal, hydrolysates, pigs, peptides.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el consumo mundial de pescado ha alcanzado un ritmo significativamente superior al crecimiento demográfico (FAO, 2020). El consumo de pescado comestible aumentó de 9.0 kg en 1961, a 20.5 kg en 2018, con una utilización de productos alimenticios estimada en 179 millones de toneladas métricas (TM). De este, 156 millones de TM se utilizaron como alimento humano y el resto (223 millones de TM) se consideraron como productos de desecho (Mahro y Timm, 2007; Halim *et al.*, 2016; FAO, 2020). Keledjian *et al.* (2014) menciona que el valor del pescado descartado en los EE. UU. es de al menos mil millones anuales. Estos desechos consisten generalmente en vísceras, cadáveres, cabeza, piel y huesos (He *et al.*, 2014). Sin embargo, debido a su alto contenido de materia orgánica, son clasificados como desechos certificados los cuales son más costosos de eliminar (Hordur y Barbar, 2000).

Debido a esta gran problemática, los subproductos del pescado están siendo utilizados cada vez más para la producción de ingredientes nutricionales, dándoles un uso más amigable desde un punto de vista económico y ambiental. Una proporción significativa de los desechos de la producción pesquera mundial se transforman en harina, aceite y ensilaje de pescado debido a su alto potencial como fuentes proteicas de alto valor biológico para la alimentación animal (He *et al.*, 2014). La inclusión de dichos componentes en la alimentación animal representa una fuente de nutrientes que promueve el crecimiento de los animales domésticos, lo que conduce a una mayor disponibilidad de proteínas para el consumo humano (Barzana y García, 1994). Adicionalmente, otros productos de gran utilidad obtenidos de los desechos del pescado son el colágeno, gelatina, hidrolizados y péptidos bioactivos, los cuales han sido producidos satisfactoriamente (Ishak y Sarbon, 2018).

Dentro de la gama de productos que se pueden obtener de los desechos del pescado, las proteínas hidrolizadas tienden a tener una aplicación significativa ya que además de ser una excelente fuente de aminoácidos, los procesos de hidrólisis de proteína dan lugar a la obtención de péptidos bioactivos. Estos, han demostrado ejercer actividades funcionales específicas en mejoras del funcionamiento fisiológicas de gran importancia en el organismo (Lopera *et al.*, 2018).

Evidencias científicas indican efectos positivos de la suplementación de péptidos hidrolizados de pescado sobre el consumo de alimento en cerdos durante la etapa de inicio (Norgaard *et al.*, 2012), como también en la ganancia diaria y conversión alimenticia en cerdos destetados (Thuy y Ha, 2016).

Esta revisión se enfatizó metodológicamente en una revisión exhaustiva de artículos científicos digitales disponibles como base para la recopilación de información acerca de la composición nutricional de la harina de pescado, las proteínas hidrolizadas de especies marinas, su valor biológico-funcional, y su aplicabilidad en la nutrición porcina.

CONTENIDO

Harina de Pescado:

La harina de pescado es un ingrediente nutricional ampliamente utilizado en la alimentación animal. Esta fuente, de alto contenido nutricional, principalmente proteína, se usa en

formulaciones dietéticas para aumentar la ingesta de alimento debido a su alta palatabilidad y suplir los requerimientos proteicos (Jones *et al.*, 2018). La harina de pescado está ampliamente disponible debido a su precio competitivo en comparación con otras fuentes de proteínas animales (leche y sangre) como también por su alta calidad nutricional (Cho y Kim, 2011). Tiene efectos sinérgicos cuando se combina con otras fuentes de proteínas, ya sean de origen vegetal o animal, mejorando el crecimiento y disminuyendo los costos de alimentación (Miles y Chapman, 2012). Dentro de sus generalidades nutricionales, la harina de pescado tiene grandes cantidades de energía metabolizable por unidad de peso (Zinn *et al.*, 2009), un nivel de proteína elevado con un excelente equilibrio de aminoácidos, vitaminas y minerales, y también niveles adecuados de ácidos grasos omega-3 (Cho y Kim, 2011; Li *et al.*, 2014; Jones *et al.*, 2018).

Composición Nutricional de la Harina de Pescado:

En general, las harinas de pescado son consideradas de buena calidad cuando contienen niveles de proteína cruda que oscilan entre el 60 y el 72% (Cho y Kim, 2011) pero, también la calidad dependerá de sus características organolépticas como sabor, color y olor (Barzana y García, 1994). El Consejo Nacional de Investigación de los EE.UU (NRC; 2012) y Ween *et al.* (2017) indican que la harina de pescado tiene un contenido de proteína cruda de 63,8% y 62% respectivamente. Esta discrepancia en los valores nutricionales depende de la especie de pescado utilizada para la obtención de las harinas (Barlow, 1993). La harina de pescado es muy utilizada como ingrediente proteico para animales monogástricos ya que ofrece un excelente perfil de aminoácidos; y es rica en algunos aminoácidos esenciales como lisina y metionina.

El contenido de lípidos en la harina de pescado es inconsistente. La concentración depende de las metodologías de procesamiento y los objetivos de la planta de procesamiento. En promedio, contiene entre 6 y 10% de lípidos; sin embargo, puede llegar hasta el 20% (Cho y Kim, 2011). La harina de pescado se utiliza para mejorar el desequilibrio del contenido de lípidos en las dietas animales porque ofrece un alto nivel de ácidos grasos omega-3, el cual es bajo en fuentes de proteínas vegetales (Miles y Chapman, 2012). Además del omega-3, es una fuente significativa de ácido docosahexaenoico, ácido eicosapentaenoico y ácido linoleico (Calder, 2021). El aceite de pescado es una excelente fuente de energía para cerdos, pollos, camarones e incluso, rumiantes debido a su alta digestibilidad de más del 90% (Miles y Chapman, 2012).

La harina de pescado tiene altas concentraciones de calcio y fósforo. Se considera un producto de buena calidad con niveles de ceniza entre el 17% y el 25%. Contrariamente al contenido de fósforo de las plantas, el cual no es altamente digerible por los animales monogástricos, en la harina de pescado se encuentra en una forma altamente disponible para la mayoría de los animales (Miles y Chapman, 2012). Según NRC (2012), la harina de pescado contiene niveles de calcio y fósforo de 4,28 y 2,29% respectivamente; teniendo niveles más altos que otras fuentes de proteínas como la harina de soja, que tiene 0.31% de calcio y 0.75% de fósforo. Además, el fósforo disponible en la harina de pescado tiene una digestibilidad estandarizada total (0,82%), mejor que contenido en la harina de soja (0,66%).

Hidrolizados de Proteína Derivados del Pescado:

Los hidrolizados son proteínas de origen animal o vegetal que se someten a procesos químicos o enzimáticos produciendo péptidos de diferentes tamaños, los cuales contienen entre 2 y 20 aminoácidos y aminoácidos libres (Barzana y García, 1994; Chalamaiah *et al.*, 2012; Hou *et al.*, 2017). Dicho proceso permite el almacenamiento y posterior utilización de fuentes proteicas de gran valor biológico obtenidos de un producto que, de otra manera, sería descartado (Figura 2; Skanderby, 1994). La hidrólisis de proteínas ha mostrado un desarrollo continuo a lo largo del tiempo, pero en un contexto general, este proceso aún se encuentra en las primeras etapas de descubrimiento de péptidos y combinaciones de aminoácidos individuales para producir los efectos deseados (Pasupuleti y Braun, 2010). Generalmente, el contenido nutricional de los hidrolizados de proteína de pescado contienen entre 81% y 91% de proteína cruda, no más del 5% de grasa, entre 3% y 8% de ceniza y entre 1% y 8% de humedad (Venugopal, 2016). El proceso de hidrólisis de fuentes de proteínas puede tardar entre 4 y 48 horas, dependiendo de la tecnología o metodología utilizada (Hou *et al.*, 2017). Existen diferentes métodos de hidrólisis utilizados por la industria, y la aplicación de cada uno de estos depende de la naturaleza de la fuente proteica (Hou *et al.*, 2017).

Métodos de Hidrólisis:

Los métodos más comunes de hidrólisis son la hidrólisis ácida, alcalina y enzimática. La hidrólisis ácida es el método menos costoso para hidrolizar proteínas, sin embargo, ofrecen un producto final con contenidos nutricionales muy variables y reducidos, debido a que el nivel de hidrólisis es casi incontrolable (Dai *et al.*, 2014; Mustatea *et al.*, 2019). Generalmente, para la hidrólisis ácida de la proteína de pescado es utilizado el ácido clorhídrico o el ácido sulfúrico. Las proteínas se hidrolizan completamente a alta temperatura (121-138°C) y a alta presión (220-310 mPa) según Petrova *et al.*, (2018); luego, el hidrolizado se neutraliza a un pH de 6,0 a 7,0 y se concentra hasta obtener una pasta o posteriormente se somete a secado para obtener un compuesto seco (Thakar *et al.*, 1991).

A pesar de que la hidrólisis ácida es ampliamente utilizada debido a su fácil aplicación y bajo costo, dicho método destruye algunos aminoácidos esenciales, principalmente los aromáticos como el triptófano (Pasupuleti y Braun, 2010). Adicionalmente, hay evidencias reportadas de la destrucción de otros aminoácidos tales como la metionina, la cistina y la cisteína, y la conversión de glutamina a ácido glutámico (Bucci y Unlu, 2000). Aunado a esto, otra limitante que se obtiene con la hidrólisis ácida de la proteína de pescado, es el alto contenido de cloruro de sodio, limitando su aplicabilidad en posteriores procesos bioquímicos, como también reduciendo su porcentaje de inclusión en dietas por su poca palatabilidad (Petrova *et al.*, 2018).

La hidrólisis alcalina es realizada con agentes alcalinos tales como hidróxido de potasio, hidróxido de calcio e hidróxido de fósforo. El proceso de hidrólisis alcalina puede llevarse a cabo en aproximadamente 18 horas, aplicando la temperatura ideal (105°C; Hou *et al.*, 2017), y un pH de 12.5 (Kristinsson y Rasco, 2000). El uso de reactivos alcalinos, principalmente hidróxido de sodio da como resultado un hidrolizado de proteína de pescado con una funcionalidad y valor nutritivo reducido. Dentro de las más notables afectaciones nutricionales, está la destrucción de la serina y la treonina; sin embargo, el triptófano permanece intacto a diferencia de la hidrólisis ácida (Pasupuleti y Braun 2010).

Por otro lado, la hidrólisis enzimática es el método ideal para hidrolizar los tejidos de los peces porque mantiene la calidad de las proteínas (Huang *et al.*, 2015), preservando así su valor nutricional. En la ciencia y la tecnología de los alimentos, las enzimas, como catalizadores biológicos que aceleran las reacciones metabólicas dentro de las células, han sido utilizadas en el procesamiento, análisis y transformación de materias primas en productos alimenticios más deseables y de mayor calidad (Richardson y Hyslop, 1984). El proceso de hidrólisis enzimática puede controlarse al punto que proporciona productos específicos basados en las necesidades del consumidor (Pasupuleti y Braun, 2010).

En la hidrólisis enzimática se utilizan enzimas sintéticas o naturales (Petrova *et al.*, 2018). Entre las enzimas naturales comúnmente utilizadas de origen animal están la tripsina y pepsina; de origen vegetal la papaína y bromelina, y de origen microbial las proteasas bacterianas y fúngicas (Pasupuleti y Braun, 2010; Pasupuleki *et al.*, 2010; Petrova *et al.*, 2018). La hidrólisis enzimática microbial fue la primera metodología utilizada para la conservación de alimentos. Las bacterias tienen la capacidad de producir enzimas proteolíticas endógenas, que actúan sobre las proteínas, liberando péptidos con propiedades bioactivas (Abuine *et al.*, 2019).



Figura 1. Principales Funciones Bioactivas de Péptidos Derivado de Proteína Hidrolizada de Pescado.

Actividad Funcional o Bioactiva de Péptidos:

Se ha demostrado que las fuentes de proteínas animales, como los productos marinos hidrolizados, contienen péptidos bioactivos cuales estimulan varias funciones benéficas en diferentes dominios

de la salud a nivel cardiovascular, dermatológico, neurológico y metabólico (Figura 1; Gevaert *et al.*, 2016), por lo tanto, se clasifican como un ingrediente alimentario ideal (Harnedy y FitzGerald, 2012). Los péptidos bioactivos se definen como pequeñas cadenas de aminoácidos que poseen funciones beneficiosas potenciales dentro del organismo (Walther y Sieber, 2011; Murray y FitzGerald, 2007). Generalmente, los péptidos con actividad bio funcional, con algunas excepciones, no suelen contener más de 20 aminoácidos en su cadena (Hou *et al.*, 2017). La función específica de diferentes péptidos bioactivos depende de su secuencia única de aminoácidos y del método de hidrólisis utilizado (Harnedy y FitzGerald, 2012; Pihlanto, 2000).

Según Cipolari *et al.* (2020), los péptidos bioactivos de pescado tienen diferentes funciones fisiológicas, de las cuales las más relevantes están: inmunomodulador, antimicrobial, antioxidativo, citomodulador, antirpentensivo, quelación de minerales, entre otras (Figura 1). Estas funciones, determinadas por la estructura peptídica, están asociadas principalmente a la señalización celular, donde operan como traductores y llevan a cabo mensajes bioquímicos, provocando cambios estructurales, moleculares y celulares que crean un efecto biológico (Cooper y Hausman, 2004). Dentro de la variedad de efecto bio funcionales que los péptidos han mostrado ejercer en el organismo humano y/o animal, las más destacadas son:

Actividad Antioxidante:

Los péptidos de los hidrolizados de proteínas animales tienen la capacidad de disminuir las especies reactivas de oxígeno (ROS), las especies reactivas de nitrógeno (RNS) y la peroxidación de lípidos (López *et al.*, 2022). Además, pueden reducir los niveles de radicales libres y citocinas proinflamatorias en el intestino delgado, mejorando así la salud intestinal, la digestibilidad de los nutrientes y el rendimiento del crecimiento (López *et al.*, 2014). Durante los procesos respiratorios y metabólicos celulares, se producen continuamente ROS y RNS, liberando el radical hidroxilo OH, radicales aniónicos y especies de radicales no libres como el peróxido de hidrógeno. Una presencia elevada de ROS conduce al deterioro proteínas y moléculas de lípidos (Abuine *et al.*, 2019).

Según Elias *et al.* (2008), la posición del aminoácido en el enlace peptídico así como su tipo e hidrofobicidad son características de alta relevancia en cuanto a la actividad antioxidante. Se cree que estas características de los aminoácidos descomponen la estructura terciaria de las proteínas, permitiendo que los disolventes de entrada se introduzcan en las moléculas oxidativas, reduciendo así la síntesis de estrés oxidativo (Sánchez y Vásquez, 2017). También, se considera que el bajo peso molecular de algunos péptidos bioactivos juega un papel importante en la capacidad de depuración antioxidante de ROS y RNS (Dong *et al.*, 2008).

Actividad Antimicrobiana:

Los peces poseen un sistema inmunológico vigoroso debido a la exposición constante a altos niveles de patógenos bacterianos, virales y parasitarios, lo que conlleva a que los péptidos antimicrobianos derivados de la proteína de pescado contengan moléculas bioquímicas vinculadas, en gran medida, al sistema inmunológico. (Rauta *et al.*, 2012). Los péptidos antimicrobianos actúan contra diferentes bacterias Gram positivas y Gram negativas (*Escherichia coli*, *Helicobacter pylori*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella spp.*, y *Staphylococcus*), como también

levaduras y hongos filamentosos (Fitzgerald y Murray, 2006). En la actualidad, el mecanismo de acción de tales péptidos no se comprende totalmente. Sin embargo, se cree que una vez en el tracto gastrointestinal, los péptidos antimicrobianos (AMP) tienen la capacidad de afectar las membranas celulares bacterianas (Lima *et al.*, 2015; Shabir *et al.*, 2018). Este daño es causado principalmente por dos mecanismos: 1) una vez que los AMP se acoplan a la membrana de la célula bacteriana, se forman poros transmembranosos que permiten la fuga del contenido intracelular y, 2) los AMP penetran la membrana celular, desactivando enzimas e inhibiendo la síntesis de proteínas y ácidos nucleicos (Shabir *et al.*, 2018).

Los péptidos bioactivos con actividad antimicrobiana han sido un excelente sustituto de los antibióticos, teniendo la capacidad de controlar bacterias, virus, hongos y micobacterias (Reddy *et al.*, 2004). Se ha demostrado que los AMP como el péptido A3, P5, colicina E1, y cecropina tienen la capacidad de promover el estado de salud del tracto gastrointestinal, mejorar la microbiota intestinal, mejorar digestibilidad de nutrientes y el rendimiento del crecimiento en cerdos y aves de corral (Tang *et al.*, 2009; Xiao *et al.*, 2015).

Actividad Inmunomoduladora:

Ha sido demostrado que los péptidos bioactivos estimulan el sistema inmunológico (Yang *et al.*, 2009) mediante la estimulación de diferentes mecanismos como la proliferación de linfocitos (He *et al.*, 2014), la actividad de las células asesinas naturales (NK) (Hartman y Meisel, 2007), la proliferación de esplenocitos (Kim *et al.*, 2018) y la producción de anticuerpos (Moughan y Markwick, 2013). También, poseen actividades antiinflamatorias al suprimir la síntesis de óxido nítrico y disminuir la proliferación del factor de necrosis tumoral α y la interleucina-6, que son citocinas proinflamatorias (Ahn *et al.*, 2012). Según Chalamaiah *et al.* (2012), los péptidos bioactivos, que poseen actividad inmunomoduladora, están compuestos de aminoácidos no polares alifáticos-hidrófobos (glicina, valina, leucina y prolina), aminoácidos aromáticos (fenilalanina, tirosina) y ácido glutámico de carga polar.

Tabla 1. Péptidos con Actividad Bioactiva Derivados de la Proteína del Pescado.

Origen	Secuencia de Aminoácidos	Actividad Biológica	Referencia
Hoki (<i>Johnius belengerii</i>)	Glu-Ser-Thr-Val-Pro-Glu-Arg-Thr-His-Pro-Ala-Cys-Pro-Asp-Phe-Asn	Antioxidante	Kim <i>et al.</i> (2007)
Tuna (Thunnus Thynnus)	Val-Lys-Ala-Gly-Phe-Ala-Trp-Thr-Ala-Asn-Gln-Gln-Leu-Ser	Antioxidante	Je <i>et al.</i> (2007)
Alaska Pollack (<i>Theragra chalcogramma</i>)	Leu-Pro-His-Ser-Gly-Tyr	Antioxidante	Je <i>et al.</i> (2005)
Tilapia roja (<i>Oreochromis sp.</i>)	Pro-Gln-Gly-Pro-Ile-Gly-Val-Pro	Antioxidante	Sierra <i>et al.</i> (2021).
Black Pomfret, (<i>Parastromateus niger</i>)	Ala-Met-Thr-Gly-Leu-Glu-Ala	Antioxidante	Jai <i>et al.</i> (2011)
Robalo (<i>Dicentrarchus labrax</i>)	Phe-Phe-His-His-Ile-Phe-Arg-Gly-Ile-Val-His-Val-Gly-Lys-Thr-Ile-His-Arg-Leu-Val-Thr-Gly	Antimicrobiano	Salerno <i>et al.</i> (2007)

<i>Mero de manchas Naranjas (Epinephelus coioides)</i>	Gly-Phe-Ile_Phe-His- Ile-Ile-Lys- Gly-Leu-Phe-His-Ala-Gly-Lys-Met- Ile-His-Gly-Leu-Val	Antimicrobiano	Shabir <i>et al.</i> (2018)
Atlantic salmon (<i>Salmo salar</i>)	Arg-Arg-Ser-Gln-Ala-Arg-Lys-Cys- Ser-Arg-Gly-Asn-Gly-Gly-Lys-Ile- Gly-Ser-Ile-Arg-Cys-Arg-Gly-Gly- Gly-Thr-Arg-Leu	Inmunomodulador	Acosta <i>et al.</i> (2019)

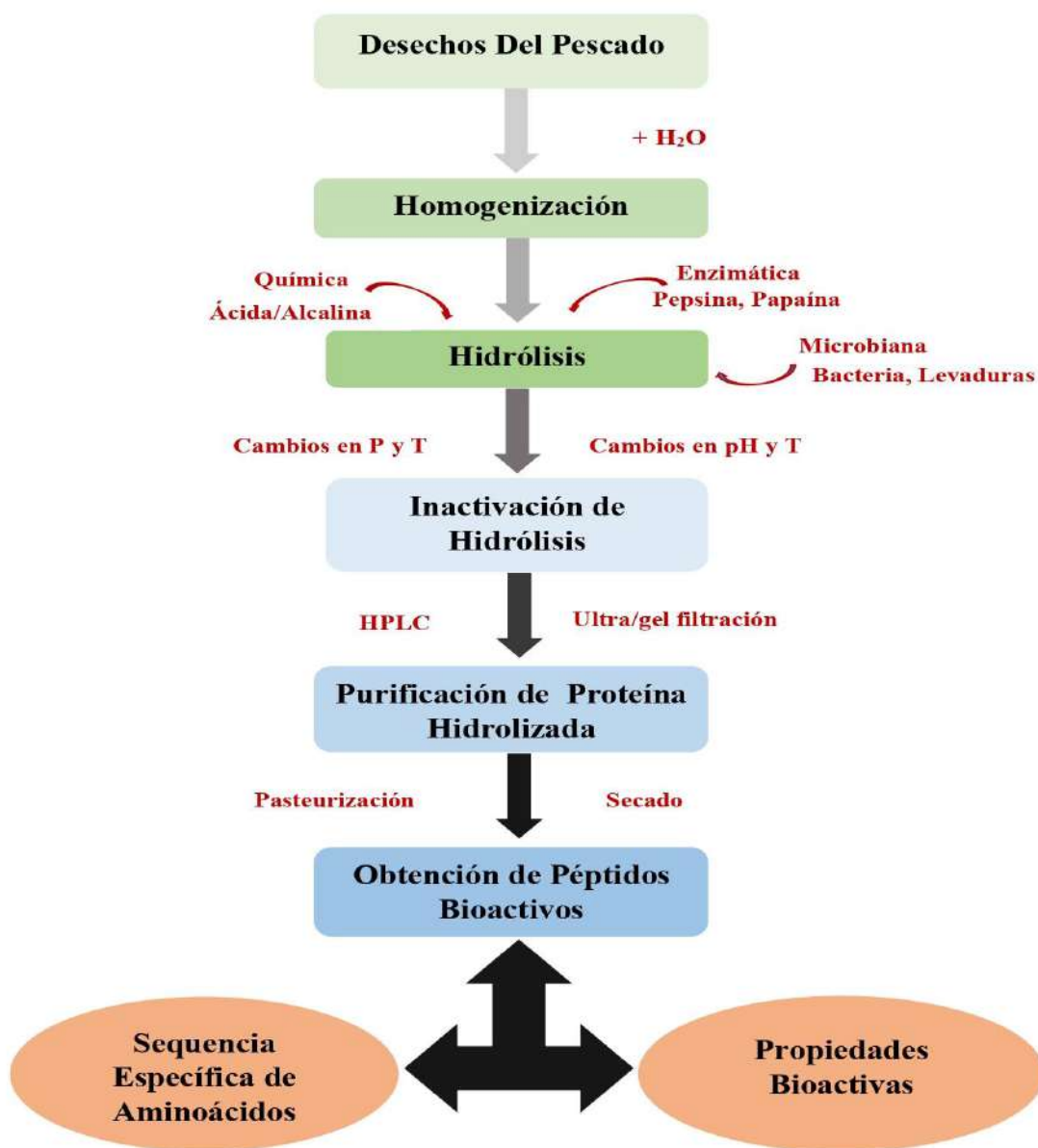


Figura 2. Esquema Básico de la Producción de Péptidos a Través de Procesos de Hidrólisis de Proteína de Pescado. (P: presión; T: temperatura; pH: potencial de hidrógeno).

Efectos de la Suplementación de Subproductos Proteicos Obtenidos del Pescado Sobre el Desempeño Productivo en Cerdos:

Evidencias científicas reportadas indican que la harina de pescado y los derivados de los desechos de pescado, como los hidrolizados de proteínas, mejoran el rendimiento del crecimiento en los cerdos de cría (Kim y Easter, 2001; Gottlob *et al.*, 2006). Kim y Easter (2001) reportaron mejores eficiencias alimenticias con la suplementación de 5% de harina de pescado en comparación a dietas basales con fuentes de proteína de soya o con plasma porcino (95% Vs 70% y 81%, respectivamente) en cerdos con 15 días de edad post destete. Dichos resultados recomiendan la sustitución del 70% de inclusión de plasma porcino por harina de pescado sin afectar el desempeño productivo.

Thuy y Ha (2016) evaluaron la sustitución de la harina de pescado con proteínas hidrolizadas de pescado (14.2% de inclusión total en la dieta), encontrando mejores ganancias diarias de peso (GDP) consumo diario de alimento (CDA) y conversión alimenticia (CA) cuando se sustituyó el 100% de la inclusión de harina de pescado (GDP: 387gramos vs 287 gramos; CDA: 439 gramos vs 447 gramos; CA: 1.43 vs 1.51) en cerdos durante 5 semanas post destete. La alta concentración de cadenas de péptidos cortos en los hidrolizados es absorbida de manera más eficiente que la proteína intacta, incluso sin ser digeridos por proteasas pancreáticas, lo que conduce a un mejor aprovechamiento de las fuentes de aminoácidos y menor gasto de energía, y así repercutiendo positivamente en el rendimiento del crecimiento (Gilbert *et al.*, 2008).

Zhantian *et al.* (2009) en su estudio en cerdos en la etapa de inicio, indica que la suplementación con hidrolizados de proteína de especies marinas en combinación con plasma seco por aspersion tuvo una respuesta similar en comparación con los cerdos alimentados con hidrolizados de especies marinas con harina de soja. También, Tucker (2011) y Norgard *et al.*, (2012) no encontraron diferencias en peso corporal, ganancia diaria de peso y consumo de alimento en cerdos alimentados con una dieta basada en harina de soja versus una dieta con harina pescado. Sin embargo, se reportaron mejores ganancias de peso cuando los cerdos fueron alimentados con proteína hidrolizada de pescado como la principal fuente de proteína. Interesantemente, una vez se

suplementó la proteína hidrolizada de pescado en conjunto con plasma porcino, el desempeño se vio afectado.

Dichas evidencias reportadas anteriormente indican mejores beneficios de la inclusión de proteínas hidrolizadas de pescado en el desempeño productivo en cerdos en comparación a aquellas obtenidas de la misma fuente, pero, sin ser sometidas previamente a un proceso de hidrólisis. Estudios sobre la inclusión de proteínas hidrolizadas de pescado en las dietas para cerdos, reemplazando la harina de pescado o soya, en combinación con otros péptidos bioactivos ha sido inconsistente. Científicamente, no ha sido establecido con claridad si existe un efecto antagonista en la suplementación mixta de péptidos bioactivos con ciertas fuentes proteicas de origen animal. Sobre esta base, se necesitan futuras investigaciones para definir el modo de acción de los hidrolizados de proteínas de pescado cuando se combinan con otros aditivos alimentarios, los cuales podrían tener un efecto sinérgico en las actividades fisiológicas estimuladas por los péptidos bioactivos.

CONCLUSIONES

La utilización de hidrolizados proteicos derivados del pescado y la tendencia en la obtención de péptidos específicos prometen un alto impacto en la eficiencia alimenticia en animales de interés zootécnico, como también una herramienta en la utilización de subproductos de desechos, que de otra manera, son un costo adicional en los sistemas pesqueros como también una posible fuente de contaminación ambiental. Se hace necesario desarrollar investigaciones sobre el estudio de otras posibles funciones de los péptido derivados de proteínas hidrolizadas de pescado y sus niveles de inclusión en las dietas para cerdos.

REFERENCIAS

- Abuine, R., Rathnayake, A., y Byun, H. (2019). Biological activity of peptides purified from fish skin hydrolysates. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 22: 1-14, <https://doi.org/10.1186/s41240-019-0125-4>
- Acosta, J., Roa, F., González, I., Astuyab, A., Maura, R., Montesinoa R., Muñoz, C., Camacho, F., Saavedra, P., Valenzuela, A., Sánchez, O., y Toledo, J. (2019). In vitro immunomodulatory activities of peptides derived from *Salmo salar* NK-lysin and cathelicidin in fish cells. *Fish and Shellfish Immunology*, 88, 587-594.

- Ahn, C., Je, J., y Cho, Y. (2012). Antioxidant and anti-inflammatory peptide fraction from salmon byproduct protein hydrolysates by peptic hydrolysis. *Food Research International*, 49: 92–98, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.08.002>
- Barlow, S. (1993). Fish meal. *Encyclopedia of Food and Technology and Nutrition*.
- Barzana, E., y Garcia, M. (1994). *Production of fish protein concentrates*. In A. M. Martin (Ed). Fisheries processing; biotechnological applications (pp. 206-222). Germany, Springer-Science + Business media.
- Bucci, L., y Unlu, L. (2000). *Protein and amino acid supplements in exercise and sport*. In: Wolinsky I, Driskell JA (eds) Energy-yielding macronutrients and energy metabolism in sports nutrition.
- Calder, P. (2021). *Health benefits of omega-3 fatty acids*. Omega-3 Delivery Systems. Production, Physical Characterization and Oxidative Stability. Academic Press, Massachusetts., EE.UU.
- Chalamaiah, M., Dinesh K., Hemalatha, R., y Jyothirmayi, T. (2012). Fish protein hydrolysates: Proximate composition, amino acid composition, antioxidant activities and applications: A review. *Food Chemistry*, 135: 3020-3038, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.06.100>
- Cho, J., y Kim, I. (2011). Fish meal – nutritive value. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 95: 685-692, <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2010.01109.x>
- Cipolari, O., de Oliveira, X., y Conceicao, K. (2020). Fish bioactive peptides: a systematic review focused on sting and skin. *Journal of Aquaculture*, 515, <https://doi.org/10.1016/734598>
- Cooper, G., y Hausman, R. (2004). *The Cell: A Molecular Approach*, third ed. Sinauer Associates, Washington, D.C.
- Dai, Z., Wu, Z., Jia, S., y Wu, G. (2014). Analysis of amino acid composition in proteins of animal tissues and foods as pre-column o-phthaldialdehyde derivatives by HPLC with fluorescence detection. *Journal of Chromatography B*, 964: 116–27.
- Dong, S., Zeng, M., Wang, D., Liu, Z., Zhao, Y., y Yang, H. (2008). Antioxidant and biochemical properties of protein hydrolysates prepared from Silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*). *Food Chemistry*, 107:1485–1493.
- Elias, R., Kellerby, S., y Decker, E. (2008). Antioxidant activity of proteins and peptides. *Critical Reviews in Food Sciences and Nutrition*, 48: 430–41.
- Fitzgerald, R., y Murray, B. (2006). Bioactive peptides and lactic fermentations. *Int J Dairy Technol*, 59:118-125.

- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2018). The state of world fisheries and aquaculture. Contributing to food security and nutrition for all.
- Gevaert, B., Veryser, L., Verbeke, F., Wynendaele, E., y De Spiegeleer, B. (2016). Fish hydrolysates: A regulatory perspective of bioactive peptides. *Protein and Peptide Letters*, 23: 1-9, <https://doi.org/10.2174/0929866523666161102122637>
- Gilbert, E., Wong, E., y Webb, K. (2008). Board-invited review: Peptide absorption and utilization: Implications for animal nutrition and health. *Journal of Animal Science*, 86: 2135-2155, <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0826>
- Gottlob, R., DeRouchev, J., Tokach, M., Goodband, R., Dritz, S., Nelssen, J., Hastad, G., y Knabe, D. (2006). Amino acid and energy digestibility of protein sources for growing pigs. *Journal of Animal Science*, 84: 1396-1402
- Halim, N., Yusof, H., y Sarbon, N. (2016). Functional and bioactive properties of fish protein hydrolysates and peptides: A comprehensive review. *Trends Food Sciences and Technology*, 51: 24-33.
- Harnedy, P., y FitzGerald, R. (2012). Bioactive peptides from marine processing waste and shellfish: A review. *Journal of Functional Foods*, 4: 6-24, <https://doi.org/10.1016/j.jff.2011.09.001>
- He, X., Cao, W., Pan, G., Yang, L., y Zhang, C. (2014). Enzymatic hydrolysis optimization of paphia undulata and lymphocyte proliferation activity of the isolated peptide fractions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95: 1544-1553. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6859>
- Hordur, K., Rasco, B. (2000). Fish protein hydrolysates: Production, biochemical, and functional properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40(1), 43-81.
- Hou, Y., Wu, Z., Dai, Z., Wang, G., y Wu, G. (2017). Protein hydrolysates in animal nutrition: Industrial production, bioactive peptides, and functional significance. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 8, <https://doi.org/10.1186/s40104-017-0153-9>
- Huang, C., Wu, C., Yang, J., Li, Y., y Kuo, J. (2015). Evaluation of iron-binding activity of collagen peptides prepared from the scales of four cultivated fishes in Taiwan. *Journal of Food and Drug Analysis*, 23: 671-678. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2014.06.009>
- Ishak, N., y Sarbon, N. (2018). A Review of Protein Hydrolysates and Bioactive Peptides Deriving from Wastes Generated by Fish Processing. *Food and Bioprocess Technology*, 11(1), 2–16, <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1940-1>
- Jai, R., Nazeer, R., y Sampath, N. (2011). Purification and Identification of Antioxidant Peptide from Black Pomfret, *Parastromateus niger* (Bloch, 1975) Viscera Protein Hydrolysate. *Food Sci. Biotechnol*, 20(4): 1087-1094

- Je, J., Qian, Z., Byun, H., y Kim, S. (2007). Purification and characterization of an antioxidant peptide obtained from tuna backbone protein by enzymatic hydrolysis. *Process Biochemistry*, 42, 840–846.
- Je, J., Park, P., y Kim, S. (2005). Antioxidant activity of a peptide isolated from Alaska pollack (*Theragra chalcogramma*) frame protein hydrolysate. *Food Research International*, 38, 45–50.
- Jones, A., Woodworth, J., Tokach, M., Goodband, R., DeRouchey, J., y Dritz, S. (2018). Fish meal solubles. Do they influence nursery pig performance. Available in: <https://www.nationalhogfarmer.com/print/22741>
- Keledjian, A., Brogan, G., Lowell, B., Warrenchuk, J., Enticknap, B., Shester G., Hirshfield, M., y Cano, D. (2014). Wasted catch: unsolved problems in U.S. fisheries. *Oceana*. Available in: https://oceana.org/wp-content/uploads/sites/18/Bycatch_Report_FINAL.pdf
- Kim, M., Kim, K., Sung, N., Byun, E., Nam, H., y Ahn, D. (2018). Immune-enhancement effects of tuna cooking drip and its enzymatic hydrolysate in balb/c mice. *Food Sci Biotechnol*. 27(1): 131-137, <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0278-9>
- Kim, S., y Easter, R. (2001). Nutritional value of fish meals in the diet for young pigs. *Journal of Animal Science*, 79: 1829, <https://doi.org/10.2527/2001.7971829x>
- Kim, S., Je, J., y Kim, S. (2007). Purification and characterization of antioxidant peptide from hoki (*Johnius belengerii*) frame protein by gastrointestinal digestion. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 18, 31–38.
- Kristinsson, H., y Rasco, B. (2000). Fish protein hydrolysates: Production, biochemical, and functional properties. In *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* (Vol. 40, Issue 1). <https://doi.org/10.1080/10408690091189266>
- Li, Q., Brendemuhl, J., Jeong, K., y Badinga, L. (2014). Effects of dietary omega-3 polyunsaturated fatty acids on growth and immune response of weanling pigs. *Journal of Animal Science and Technology*, 56: 7 <https://doi.org/10.1186/2055-0391-56-7>
- Lima, C., Campos, J., Filho, J., Converti, A., da Cunha, M., y Porto, A. (2015). Antimicrobial and radical scavenging properties of bovine collagen hydrolysates produced by *Penicillium aurantiogriseum* URM 4622 collagenase. *Journal of Food Sciences and Technology*, 52: 4459–4466. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1463-y>
- Lopera, L., Sepúlveda, C., Vásquez, P., Figueroa, O., Zapata, J. (2018). Byproducts of aquaculture processes: development and prospective uses. Review. *Foods: Science, Engineering and Technology*. 25(3), 128-140. <https://doi.org/10.17533/udea.vitae.v25n3a03>

- López, L., Gutiérrez, J., y Serna, S. (2014). Bioactive peptides and hydrolysates from pulses and their potential use as functional ingredients. *Journal of Food Sciences*, 79: 273–283. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12365>
- López, G., Dublan, O., Arizmendi, D., Gómez, Leobardo. (2022). Antioxidant and antimicrobial peptides derived from food proteins. *Molecules*, 27(4), 1343, <https://doi.org/10.3390/molecules27041343>
- Mahro, B., y Timm, M. (2007). Potential of biowaste from the food industry as a biomass resource. *Engineering in Life Sciences*. 7: 457–468. <https://doi.org/10.1002/elsc.200620206>
- Miles, R., y Chapman, F. (2012). The benefits of fish meal in aquaculture diets. University of Florida, IFAS Extension.
- Moughan, P., y Markwich, K. (2013). *Food bioactive proteins and peptides: antimicrobial, immunomodulatory, and anti-inflammatory effects*. In P.C. Calder and P, Yaqoob (Eds). Diet, immunity, and inflammation (pp. 313-340). Cambridge, UK: Woodhead publishing limited.
- Murray, B., y FitzGerald, R. (2007). Angiotensin converting enzyme inhibitory peptides derived from food proteins: Biochemistry, bioactivity, and production. *Current Pharmaceutical Design*, 13: 773–791, <https://doi.org/10.2174/138161207780363068>
- Mustatea, G., Ungureanu, E., y Lorga, E. (2019). Protein acidic hydrolysis for amino acids analysis in food- progress over time: a short review. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, 26: 81-87.
- Norgaard, J., Blaabjerg, K., y Poulsen, H. (2012). Salmon protein hydrolysate as a protein source in feed for young pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 177: 124-129, <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2012.08.003>
- NRC, (2012). *Nutritional requirements of swine*. 11th edition. The National Academies Press, Washington, D.C.
- Pasupuleti, V., y Braun, S. (2010). *State of the art manufacturing of protein hydrolysates*. In V.K. Pasupuleti and A.L. Demain (Eds), Protein hydrolysates in biotechnology (pp. 11-32). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6674-0_2
- Pasupuleki, V., Holmes, C., y Demain, A. (2010). *Applications of protein hydrolysates in biotechnology*. In Pasupuleki V.K, & Demain A.L (Eds), Protein hydrolysates in biotechnology (pp. 1–9). New York: Springer Science.
- Petrova, I., Tolstorebrov, I., y Eikevik, T. (2018). Production of fish protein hydrolysates step by step: Technological aspects, equipment used, major energy costs and methods of their minimizing. *International Aquatic Research*, 10:223-241, <https://doi.org/10.1007/s40071-018-0207-4>

- Pihlanto, A. (2000). Bioactive peptides derived from bovine whey proteins. *Trends Food Sciences Technology*, 11:347–56
- Rauta, P., Nayak, B., y Das, S. (2012). Immune system and immune responses in fish and their role in comparative immunity study: a model for higher organisms. *Immunology Letters*, 148, 23–33
- Reddy, K., Yedery, R., y Aranha, C. (2004). Antimicrobial peptides: premises and promises. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 24: 536–47. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2004.09.005>
- Richardson, T. y Hyslop, D. (1984). *Enzymes, in Food Chemistry*, 2nd ed., Fennema, O. R., Ed., Marcel Dekker Inc., New York.
- Sánchez, A., y Vásquez, A. (2017). Bioactive peptides: A review. *Food Quality and Safety*, 1: 29–46. <https://doi.org/10.1093/fqs/fyx006>
- Shabir, U., Ali, S., Magray, A., Ganai, B., Firdous, P., Hassan, T, y Nazir, R. (2018). Fish antimicrobial peptides (AMP's) as essential and promising molecular therapeutic agents: a review. *Microbial Pathogenesis*, 114: 50–56. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2017.11.039>
- Skanderby, M. (1994). Protein hydrolysates: their functionality and applications, *Food Technol. Int. Eur.*, 10, 141.
- Salerno, G., Parrinello, N., Salerno, G., Parrinello, N., y Roch, P. (2007). cDNA sequence and tissue expression of an antimicrobial peptide, dicentracin; a new component of the moronecidin family isolated from head kidney leukocytes of sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol*, 146(4):521–529.
- Sierra, L., Fan, H., Zapata, J., y Wu, J. (2021). Antioxidant peptides derived from hydrolysates of red tilapia (*Oreochromis sp.*) scale. *Food Science and Technology*, 146.
- Tang, Z., Yin, Y., Zhang, Y., Huang, R., Sun, Z., Li, T., Chu, W., Kong, X., Li, L., Geng, M., y Tu, Q. (2009). Effects of dietary supplementation with an expressed fusion peptide bovine lactoferricin-lactoferrampin on performance, immune function and intestinal mucosal morphology in piglets weaned at age 21 d. *British Journal of Nutrition*, 101: 998–1005, <https://doi.org/10.1017/S0007114508055633>
- Thakar, P., Patel, J., y Joshi, N. (1991). Protein hydrolysates: a review, *Indian J. Dairy Sci.*, 44(9), 557.
- Thuy, N., y Ha, N.C. (2016). Effect of replacing marine fish meal with catfish (*Pangasius hypophthalmus*) by-product protein hydrolysate on the growth performance and diarrhea incidence in weaned piglets. *Tropical Animal Health and Production*, 48:1435-1422

- Tucker, J., Naranjo, V., Bidner, T., y Southern, L. (2011). Effect of salmon protein hydrolysate and spray-dried plasma protein on growth performance of weanling pigs. *Journal of Animal Science*, 89: 1466–1473
- Venugopal, V. (2016). Enzymes from seafood processing waste and their applications in seafood processing. *Advances in Food and Nutrition Research*, 78: 47-69, <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2016.06.004>
- Walther, B., y Sieber, R. (2011). Bioactive proteins and peptides in foods. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*, 81: 181-192. <https://doi.org/10.1024/0300-9831/a000054>
- Ween, O., Stangeland, J. K., Fylling, T. S., y Aas, G. (2017). Nutritional and functional properties of fishmeal produced from fresh by-products of cod (*gadus morhua* L.) and saithe (*pollachius virens*). *Heliyon*, 3, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2017.e00343>
- Xiao, H., Shao, F., Wu, M., Ren, W., Xiong, X., Tan, B., y Yin, Y. (2015). The application of antimicrobial peptides as growth and health promoters for swine. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 6, <https://doi.org/10.1186/s40104-015-0018-z>
- Yang, R., Zhang, Z., Pei, X., Han, X., Wang, J., Wang, L., Long, Z., Shen, X., y Li, Y. (2009). Immunomodulatory effects of marine oligopeptide preparation from chum salmon (*oncorhynchus keta*) in mice. *Food Chemistry*, 113: 464-470. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.086>
- Zhantian, S., Ma, Q., Li, Z., y Ji, Ch. (2009). Effect of partial substitution of dietary spray-dried porcine plasma or fishmeal with soybean and shrimp protein hydrolysate on growth performance, nutrient digestibility and serum biochemical parameters of weanling piglets. *Asian-Aust. J. Anim. Sci*, 22: 1032-1037.
- Zinn, K., Hernot, D., Fastinger, N., Karr-Lilienthal, L., Bechtel, P., Swanson, K., y Fahey, G. (2009). Fish protein substrates can substitute effectively for poultry by-product meal when incorporated in high-quality senior dog diets. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 93: 447-455, <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2008.00826.x>