



Investigación e Innovación en Nutrición Acuícola

**Editores: Lucía Elizabeth Cruz Suárez,
Mireya Tapia Salazar, Martha Guadalupe
Nieto López, David A. Villarreal Cavazos,
Julián Gamboa Delgado, y Carlos A.
Martínez Palacios**

Investigación e Innovación en Nutrición Acuícola

2022, Monterrey, Nuevo León, México

Editores: Lucía Elizabeth Cruz Suárez, Mireya Tapia Salazar, Martha Guadalupe Nieto López, David Alonso Villarreal Cavazos, Julián Gamboa Delgado y Carlos A. Martínez Palacios.

Programa Maricultura
Facultad de Ciencias Biológicas
Universidad Autónoma de Nuevo León 2022

Copias disponibles en:
Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ciencias Biológicas
Programa Maricultura
Cd. Universitaria
San Nicolás de los Garza, Nuevo León
C.P. 66455
Tel.+Fax. 818352 6380
E-mail: lucia.cruzsr@uanl.edu.mx

Para citar alguna parte de ésta obra siga el siguiente estilo:

- Autores del escrito. 2022. Nombre del artículo. Editores: Lucía Elizabeth Cruz Suárez, Mireya Tapia Salazar, Martha Guadalupe Nieto López, David Alonso Villarreal Cavazos, Julián Gamboa Delgado y Carlos A. Martínez Palacios. Investigación e innovación en nutrición acuícola, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, pp.473 ISBN: 978-607-27-1732-9. El cuidado de la presente edición, así como su realización estuvo a cargo de los editores.

La reproducción total o parcial de ésta obra requiere la autorización escrita por los titulares del derecho de autor.

Los editores hacemos extensivo nuestro profundo agradecimiento:

- A las personas que colaboraron en la edición técnica de estas memorias

Directorio

Dr. Santos Guzmán López
Rector

Dr. Juan Paura García
Secretario. General

Dr. Celso José Garza Acuña
Secretario extensión y cultura

Lic. Antonio Ramos Revillas
Director de Editorial Universitaria

Dr. José Ignacio González Rojas
Director de la Facultad de Ciencias Biológicas

Editores

Lucía Elizabeth Cruz Suárez, Denis Ricque Marie, Mireya Tapia Salazar, Martha Guadalupe Nieto López, David Alonso Villarreal Cavazos, Julián Gamboa Delgado, y Carlos A. Martínez Palacios.

Dirección de edición: Programa Maricultura, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Dra. Lucía Elizabeth Cruz Suárez, Av. Universidad S/N, Ciudad Universitaria, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, C.P. 66455
Email: elicruz@hotmail.com, lucia.cruzsr@uanl.edu.mx
Teléfonos: 52 8183526380

Primera edición 2022. ©Universidad Autónoma de Nuevo León. ©L. Elizabeth Cruz Suárez, ©Mireya Tapia Salazar, ©Martha Guadalupe Nieto López, ©David Alonso Villarreal Cavazos, ©Julián Gamboa Delgado, ©Carlos A. Martínez Palacios.

ISBN:978-607-27-1732-9. El cuidado y edición estuvo a cargo de los editores. El contenido es responsabilidad de los autores.

Párrafo legal: Reservado todos los derechos conforme a la ley. Prohibida la reproducción total o parcial de la obra sin previa autorización por escrito del titular propietario y editor de la obra.

Proteínas y Péptidos de Residuos Líquidos Pesqueros: Obtención, Bioactividad y Uso en la Alimentación Acuícola

Emmanuel Martínez Montaña*, Jesús Aarón Salazar Leyva, Idalia Osuna Ruiz

Laboratorio de Compuestos Naturales Bioactivos

Unidad Académica de Ingeniería en Departamento de Biotecnología

Universidad Politécnica de Sinaloa

Mazatlán, Sinaloa, México

Tel: +52 669 166 1348, Email: emartinez@upsin.edu.mx

Resumen

La industria procesadora de productos pesqueros, derivado de sus actividades productivas, genera una importante cantidad de residuos líquidos, los cuales son comúnmente conocidos como efluentes pesqueros. Muchos de estos efluentes, son descargados al medio ambiente sin recibir algún tratamiento, generando un impacto negativo en los cuerpos de agua y zonas costeras donde son vertidos. Por otro lado, estudios han determinado que estos efluentes poseen concentraciones importantes de materia sólida, principalmente proteínas. Dicha proteína es de alta calidad considerando su perfil de aminoácidos, por lo cual es de interés emplear tecnologías para poder concentrarlas y recuperarlas. Una vez recuperada la fracción proteica de los efluentes pesqueros, a partir de esta se pueden obtener productos con alto valor agregado (p.ej. hidrolizados proteicos y péptidos bioactivos) aplicando tecnología enzimática. Las aplicaciones de estos nuevos productos en la industria alimentaria (humana o animal), pueden ser amplias y de importante valor económico. En esta revisión, se discutirá lo relacionado a alternativas de aprovechamiento de los efluentes generados en la industria pesquera, enfocándose en la recuperación y la utilización de fracciones proteicas. Se incluyen algunas técnicas empleadas para su obtención, mencionando sus ventajas y requerimientos; así como las propiedades tecno-funcionales y biológicas de las proteínas o sus hidrolizados proteicos obtenidos a partir de los efluentes pesqueros, y finalmente, se discutirá los usos y aplicaciones de efluentes pesqueros y sus hidrolizados como reemplazo de harina de pescado para la formulación de alimentos acuícolas, lo cual acarrea ventajas sobre el desempeño productivo y/o sobre distintos indicadores de la salud de los organismos.

Palabras clave: *Efluentes pesqueros; Hidrólisis enzimática; Propiedades bioactivas; Recuperación proteica; Suplemento alimenticio*

1. Introducción

La transformación de materias primas obtenidas de actividades pesqueras o acuícolas, en productos destinados para el consumo humano genera una gran cantidad de subproductos sólidos (cabezas, vísceras, piel, escamas, esqueletos, entre otros) que pueden llegar a representar entre un 30% a 70% en peso de la materia prima inicial (Bruno *et al.*, 2019). A la par de la generación de estos subproductos sólidos, grandes volúmenes de residuos líquidos (5 a 40 m³/ tonelada de material procesado; Venugopal y Sasidharan, 2021) conocidos como efluentes también son generados durante operaciones como el lavado, descongelado, fileteado, salmuero y cocción de los organismos, así como durante la producción de harina de pescado (Navarro-Peraza *et al.*, 2020). Estos efluentes contienen materia orgánica en forma soluble y en estado coloidal, cuya carga depende del tipo de proceso en el que se generaron. El manejo más común de estos efluentes, cuando son recuperados, consiste en su condensación o deshidratación, inclusión en harinas de pescado y su posterior utilización para la fabricación de alimentos para animales; sin embargo, gran proporción de estos efluentes son dispuestos de manera inadecuada hacia el ambiente descargándolos directamente a cuerpos de agua aledaños a las plantas procesadoras, en donde ocasionan serios problemas ecológicos (Venugopal y Sasidharan, 2021), principalmente procesos de eutrofización, debido a su elevada carga de materia orgánica, demanda bioquímica de oxígeno y alto contenido de sales (Aanand *et al.*, 2017).

En este sentido, los efluentes deben ser sometidos a un tratamiento que reduzca a un mínimo permisible los niveles de materia orgánica presente en ellos, para luego disponer la fracción acuosa al ambiente; sin embargo, estos procedimientos implican un costo adicional de procesamiento. Numerosas investigaciones constatan que los efluentes derivados del procesamiento de productos pesqueros son una abundante fuente de proteínas, lípidos y cenizas. Pero también están presentes en ellos moléculas con propiedades funcionales y bioactivas tales como péptidos, nucleótidos y pigmentos (p.ej. astaxantina y carotenoides), todos estos de interés para la industria alimentaria (Amado *et al.*, 2016) y farmacéutica (Hung *et al.*, 2014; Kasiwut *et al.*, 2019), principalmente. Por lo que la recuperación de la materia orgánica presente en los efluentes pesqueros podría reducir los costos de su tratamiento, además que la recuperación de la fracción proteica soluble de estos efluentes representa una estrategia atractiva para la generación de nuevos productos de interés industrial con valor agregado (Navarro-Peraza *et al.*, 2020; Venugopal, 2021) (Figura 1).

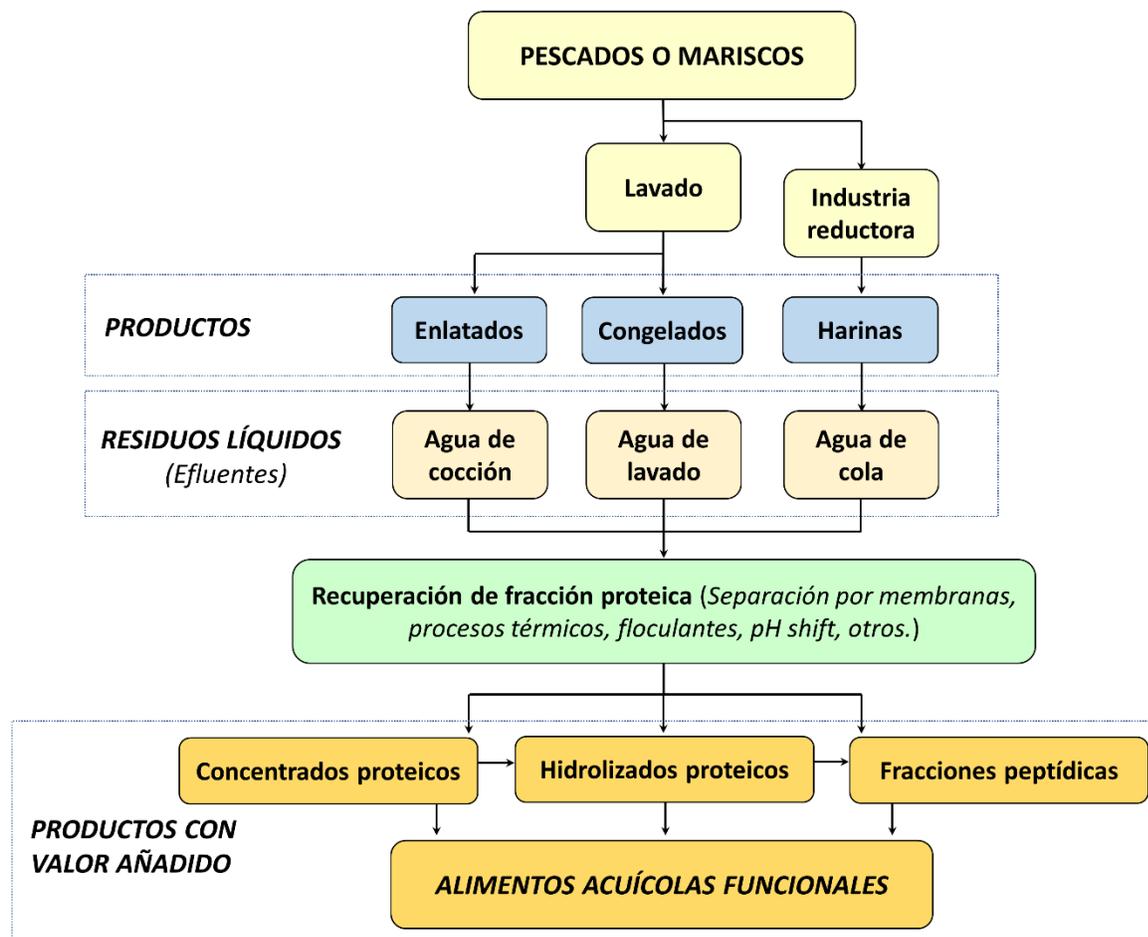


Figura 1. Obtención de compuestos proteicos con valor añadido a partir de efluentes pesqueros y su potencial uso como ingredientes para la elaboración de alimentos acuícolas funcionales (Modificado de Navarro-Pedraza *et al.*, 2020).

A continuación, se describen brevemente dos de los efluentes pesqueros (agua de cocción y agua de cola) con los cuales nuestro grupo de investigación ha trabajado, y a partir de los cuales se ha recuperado moléculas de origen proteico con interés alimenticio.

Aguas de cocción: Las industrias procesadoras de productos pesqueros tales como las enlatadoras de especies de túnidos (p.ej. atún aleta amarilla), pelágicos menores (p.ej. sardina y anchoveta) y moluscos (p.ej. abulón y mejillón), por mencionar algunos ejemplos, generan distintos tipos de efluentes, durante las operaciones de lavado, descongelado y cocción. Esta última operación unitaria, genera el mayor volumen de un efluente conocido como “agua o jugo de

cocción”. A manera de ejemplo, los túnidos, son cocinados enteros a vapor, a temperaturas que oscilan entre los 96 y 105° C, de 4 a 6 horas, dependiendo del tamaño de los peces (Gómez *et al.*, 2016). Así, se ha reportado que el agua de cocción derivada de este proceso puede contener entre un 3.9 a 5% de proteína (Hung *et al.*, 2014; Martínez-Montaña *et al.*, 2021b). También se ha reportado, que el agua de cocción de anchoveta (*Engraulis japonicus*) es un importante efluente, ya que, durante el procesamiento de esta especie, se generan aproximadamente 1.5 toneladas de agua de cocción, por cada tonelada de pescado procesado y se ha encontrado que este efluente es fuente de proteína altamente nutritiva, pues contiene aproximadamente 5 % de proteína cruda con un 57 % de aminoácidos (AAs) esenciales (Tang *et al.*, 2015).

Además de la generación de aguas de cocción de pescado, el cocimiento de crustáceos, tales como camarón y jaibas, es otra fuente importante. A manera de ejemplo, Pérez-Santín, *et al.*, (2013) determinaron la composición proximal del efluente proveniente de la cocción de camarón (*Penaeus spp.*), encontrando que la fracción proteica fue el componente mayoritario del jugo de cocción (26.2 g/L), y que dicha fracción representaba el 53 % del total de la materia seca.

En el caso de la industria procesadora de moluscos tales como los mejillones, el tratamiento térmico industrial de mitílidos genera grandes volúmenes de efluentes. Se ha estimado que la cocción industrial de mejillones genera entre 300 y 400 L de efluentes/tonelada de carne procesada (Prieto *et al.*, 2015), siendo dichos residuos líquidos comúnmente dispuestos en el mar sin un tratamiento previo. La carga orgánica de los efluentes derivados del procesamiento de mitílidos depende de la operación unitaria involucrada. Así, los efluentes generados en las etapas de lavado y desconchado poseen una baja carga orgánica; sin embargo, la etapa de cocción genera efluentes con una alta carga orgánica (Medina-Uzcátegui *et al.*, 2021). Se ha reportado que aguas con alta carga orgánica contienen 5.08% de sólidos totales, de los cuales 50.32% es materia orgánica y el restante 49.68% son compuestos inorgánicos (Bello-Bugallo *et al.*, 2012). Los principales componentes de la materia orgánica presente en los efluentes derivados de la cocción de mitílidos son el glicógeno y la taurina

Agua de cola: En el año 2018, la producción mundial pesquera alcanzó unos 179 millones de toneladas, de los cuales 22.2 millones de toneladas fue destinada a usos no alimentarios y el 82% de esta cantidad (18 millones de toneladas) se transformó en harina y aceite por la industria pesquera reductora (FAO, 2020). El “agua de cola” es uno de los efluentes generados durante la

fabricación de harina y aceite de pescado. Para la elaboración de estos dos últimos productos, la materia prima (peces pelágicos menores o subproductos sólidos pesqueros) es cocida, molida, prensada y secada. La fase líquida resultante del prensado se compone principalmente de agua y aceite, los cuales son separados a través de un proceso de centrifugación. Una vez que el aceite es removido, el efluente obtenido es conocido comúnmente como agua de cola (AC). Este efluente es de gran interés, ya que posee en promedio 8 a 11 % de sólidos totales, de los cuales el principal componente son las proteínas y los lípidos quienes representan entre un 3 a 6% y un 2 a 5% de la masa total del AC, respectivamente, porcentajes que dependen de la materia prima utilizada (Valdez-Hurtado *et al.*, 2018). En el caso de AC generada durante la elaboración de harina de pescado usando sardina crinuda como materia prima, las proteínas representan entre el 4.5 y 5.9% de la masa total húmeda (Martínez-Montaña *et al.*, 2021a, b), dependiendo de la temporada de captura, condiciones de almacenaje o intensidad de la centrifugación para separar la fracción lipídica. Se ha estimado que, sólo en el estado de Sonora, 120 mil toneladas de AC son generadas debido a la transformación de aproximadamente 20 mil toneladas de sardina en harina de pescado. Con esto, al menos 3,600 toneladas de proteína podrían ser recuperadas de AC de sardina Monterey y 5,000 toneladas de AC de sardina crinuda (Valdez-Hurtado *et al.*, 2018).

Actualmente, la industria reductora recupera los sólidos solubles del AC a través de un proceso de condensación de sólidos solubles y su reincorporación a la fracción sólida obtenida durante el proceso de prensado, lo cual aumenta el rendimiento en la producción de harina. Sin embargo, en algunas ocasiones ante la falta de equipamiento suficiente para las operaciones de concentración y secado, la industria descarga el AC directamente a las zonas costeras aledañas a las plantas procesadoras (Pacheco-Aguilar, *et al.*, 2018).

2. Estrategias aplicadas para la obtención de proteínas y péptidos a partir de efluentes pesqueros.

En general, el procesamiento de los alimentos, tiene como resultado la generación de elevados volúmenes de aguas residuales o efluentes, los cuales contienen compuestos con alto valor nutricional (Venugopal y Sasidharan, 2021). En este sentido, el procesamiento de organismos marinos genera una importante cantidad de efluentes, los cuales, como se mencionó anteriormente, poseen diferentes cantidades de proteínas solubles que pueden ser recuperadas y concentradas por

distintas estrategias y/o empleadas como ingredientes funcionales o materia prima para la producción de hidrolizados de proteína.

Los efluentes provenientes de las industrias procesadoras de recursos pesqueros poseen concentraciones de sólidos en un rango aproximado de 8 a 10% del peso húmedo, de los cuales las proteínas son el principal componente (llegando a representar hasta el 70% de los sólidos totales). Así, se han reportado distintas estrategias para recuperar y/o concentrar la fracción proteica de los efluentes pesqueros, destacando el uso de ácidos y bases (método pH-shift), aplicación de agentes floculantes (polisacáridos principalmente), la tecnología de membranas (ultrafiltración y nanofiltración) y la hidrólisis enzimática (Navarro-Peraza, *et al.*, 2020). A continuación, se describe de manera breve el fundamento de cada una de estas estrategias, y se presentan ejemplos de su aplicación para el aislamiento de proteínas y péptidos de efluentes pesqueros.

Método del pH-shift: Los ácidos y bases son agentes precipitantes efectivos en la recuperación de proteínas en solución acuosa. Considerando que, en una molécula anfótera, a un valor de pH determinado su carga electrostática puede ser igual a 0 (punto isoelectrico o pI), las moléculas de origen proteico pueden llegar a ser insolubles en agua debido a que la atracción hidrofóbica proteína-proteína es mayor que la atracción electrostática proteína-agua, resultando en una precipitación isoelectrica. Por el contrario, cuando el pH se ajusta lejos del pI de la proteína, la interacción proteína-agua se favorece, lo que resulta en una solubilización isoelectrica. Con este proceso de solubilización/precipitación isoelectrica, primero, se favorece la solubilización proteica con el objetivo de separar estas de lípidos y otros materiales insolubles. Posterior a la solubilización proteica y tras un ajuste de pH (pH-shift), se induce su precipitación y su recuperación mediante un proceso de centrifugación. Para moléculas de origen proteico, una solubilización se da a pH alcalinos (pH 10.5-13.0) o ácidos (pH 1.5-3.0) y la precipitación a un pH cercano a 5.5 (Matak *et al.*, 2015).

Uso de polisacáridos como agentes floculantes: De manera tradicional, muchas industrias pesqueras utilizan cloruro férrico, sulfato de aluminio e hidróxido de calcio para lograr la floculación de proteínas contenidas en los efluentes, obteniendo buenos resultados gracias a que las partículas suspendidas se desestabilizan y pueden ser recuperadas ya sea por procesos de filtración y centrifugación (Fahim *et al.*, 2001; Taskaya & Jaczynski, 2009); sin embargo, el uso de los agentes floculantes antes mencionados ha sido cuestionado por la probable presencia de iones metálicos en la fracción proteica, que por cuestiones de seguridad, limitaría su aplicación

como ingredientes alimentarios en animales y humanos. En este contexto, se han utilizado polisacáridos de origen natural, como una alternativa para flocular proteínas contenidas en efluentes pesqueros, basándose en el hecho de que los polisacáridos cargados negativamente, pueden interactuar con las proteínas a valores de pH en los cuales su carga neta es positiva o cercana a la neutralidad (Ye, 2008). La efectividad, cantidad requerida y especificidad de los polisacáridos para flocular proteínas, depende de diversos factores, tales como la densidad de carga, peso molecular y presencia de grupos carboxilo y sulfato en la estructura del polisacárido (Forghani *et al.*, 2020).

Tecnología de membranas: Esta estrategia, consiste en el uso de presión hidrostática para forzar un líquido a través de una membrana semipermeable. Al fluido que cruza a través de la membrana, se le conoce como “permeado” y el líquido que permanece en la membrana es el “retenido” (Kumar *et al.*, 2013). Las membranas utilizadas se componen principalmente de materiales sintéticos, tales como celulosa, poli amidas y poli sulfonas, permitiendo así la concentración y separación de componentes proteicos que se encuentran en solución, en base a su peso molecular y sin causar desnaturalización térmica de los mismos (Lee *et al.*, 2014). Los tamaños de poro de las membranas se encuentran en el rango de 0.1 a 5000 nm y se clasifican de acuerdo con el tamaño de partícula que pueden separar. Por ejemplo, la microfiltración separa partículas de 50 nm o mayores; la ultrafiltración (UF) separa partículas de alrededor de 3 nm o mayores; la nanofiltración (NF) separa partículas de 1 nm o de mayor tamaño; y la osmosis inversa logra separar partículas menores a 0.1 nm (Calabrò & Basile, 2011).

Hidrólisis enzimática: Los hidrolizados proteicos (HP) se definen como una mezcla de péptidos que contienen generalmente de 2 a 20 AAs, y son producidos a través de la hidrólisis de proteínas, realizada ya sea por métodos químicos (empleando ácidos o álcalis fuertes) o por métodos biológicos (como los fermentativos y enzimáticos); la hidrólisis enzimática es la más utilizada, ya que es un proceso que no utiliza compuestos químicos tóxicos y que además preserva las propiedades nutricionales y funcionales de las fuentes proteicas. Adicionalmente, la principal ventaja del uso de enzimas es que las temperaturas de hidrólisis son moderadas, y además la especificidad hidrolítica de las enzimas, permite un mejor rendimiento y control del grado de hidrólisis. Este último parámetro indica el porcentaje de los enlaces peptídicos escindidos durante el proceso y es uno de los factores más importantes que determina las propiedades funcionales de los HP obtenidos (Tavano, 2013). Son diversos los factores que influyen en el proceso de hidrólisis

enzimática, por lo que estos, deben ser cuidadosamente controlados por el fabricante, para que así se obtengan hidrolizados proteicos con las propiedades fisicoquímicas requeridas para su aplicación. Entre los factores de mayor importancia, se encuentra el tipo de enzima y la fuente de proteína (sustrato). Existe una gran variedad de enzimas proteolíticas disponibles comercialmente para la obtención de hidrolizados de proteína, las cuales pueden provenir de fuentes animales (pancreatina, tripsina y pepsina), vegetales (papaína, bromelina) y microbianas (Alcalasa® y flavourzyme®). La elección de la enzima depende de la fuente de proteína y de los requerimientos de uso finales del hidrolizado (Pasupuleti y Braun, 2008).

A continuación, en la tabla 1 se presentan estudios científicos en los que se han aplicado las estrategias antes mencionadas para obtener proteínas y péptidos a partir de diversos efluentes de la industria pesquera.

Tabla 1. Estrategias para la obtención de proteínas y péptidos a partir de efluentes pesqueros.

Efluente pesquero	Estrategia de aislamiento de fracción proteica	Características químico-composicionales de proteínas y/o péptidos	Referencia
Agua de cola de sardina crinuda (<i>Opisthonema libertate</i>) y agua de cocción de atún aleta amarilla (<i>Thunnus albacares</i>)	Método del pH-shift; se utilizó ácido clorhídrico (HCl) y ácido tricloroacético como agentes precipitantes.	De manera específica, la recuperación de proteína fue efectiva (> 80%) solo para el agua de cola de sardina, al utilizar ambos ácidos. Se observó un incremento en los péptidos de alto peso molecular (17 a 158 kDa) en los sólidos recuperados de ambos efluentes y se incrementó la concentración de AAs esenciales, tales como Lys, Leu, Ile, Phe y Val.	(Martínez-Montaña <i>et al.</i> , 2021a).
Agua de cocción de camarón (<i>Pandalus borealis</i>)	Floculación utilizando polisacáridos grado alimenticio (carragenanos, alginatos y carboximetilcelulosa).	Se logró sedimentar con mayor efectividad la proteína del efluente (86 %) al utilizar carragenanos a una concentración de 0.45 g/L y pH 4.	(Forghani <i>et al.</i> , 2020)
Agua de cocción de camarón (no se especifica especie)	Acoplamiento de ultrafiltración (UF) e hidrólisis enzimática; la proteína del efluente fue inicialmente concentrada con UF y posteriormente se hidrolizó con la enzima alcalasa.	La concentración de proteína del efluente después de la UF, fue de 0.301 g/100 g, representando un factor de concentración de 3.2. El grado de hidrólisis más elevado fue de 45% tras 350 min de reacción. Los AAs encontrados en mayor proporción en el hidrolizado de proteína fueron Glu, Arg y Asp (15.12, 8.14 y 7.97 g/100 g, respectivamente).	(Tonon <i>et al.</i> , 2016)
Agua de cola de sardina crinuda (<i>Opisthonema libertate</i>)	Hidrólisis enzimática aplicando la enzima Alcalasa®	El contenido de proteína de los hidrolizados de agua de cola de sardina oscilo entre 56.6 y 63.3%. Los péptidos de peso molecular menor a 1.35 kDa, predominaron en los hidrolizados de proteína (47-62 % del total de péptidos). Los aminoácidos His, Lys, Met, Tau, Tyr y Trp (asociados a la impartición de sabores) fueron detectados en el efluente sin procesar y en los hidrolizados de proteína; este hallazgo vislumbra el potencial de aplicación de efluentes pesqueros en dietas acuícolas.	(Martínez-Montaña <i>et al.</i> , 2021b)

3. Propiedades tecno funcionales y biológicas de compuestos proteicos en los efluentes pesqueros.

Existen un número importante de reportes que dan cuenta del potencial que tienen los organismos acuáticos como fuente de compuestos proteicos cuyas propiedades tecno funcionales y/o biológicas, supone su potencial aplicación como ingrediente o suplemento en alimentación acuícola. Si bien, la mayoría de los trabajos se centran en subproductos sólidos de proteínas recuperadas y/o hidrolizadas (Girgih *et al.*, 2015; Greyling *et al.*, 2020) o bien sometidas a fermentación (Marti-Quijal *et al.*, 2020), existen algunas investigaciones que revelan que los subproductos líquidos o efluentes generados durante el procesamiento de distintas especies acuáticas, contienen fracciones de proteína con alguna bioactividad (y/o funcionalidad tecnológica) o bien servir como fuente de material proteico susceptible de ser empleado como ingrediente de valor nutricional o como materia prima para obtener hidrolizados bioactivos, que por sus características puedan ser adicionados en dietas acuícolas (Martínez-Montaña *et al.*, 2021a).

En este sentido, se han estudiado las características fisicoquímicas y funcionales de las proteínas recuperadas de diferentes efluentes residuales del procesamiento de surimi (SPW) y sanguazas del sacrificio del (FSW) pescado, observando que las proteínas recuperadas poseen un elevado contenido de AAs esenciales principalmente leucina (Bethi *et al.*, 2020). Estos efluentes también poseen proteínas siendo predominantes las miofibrilares para SPW y hemoglobinas para FSW, donde las primeras exhibieron una mayor capacidad de retención de agua y espumante, mientras que las segundas mostraron una mejor propiedad emulsionante (Bethi *et al.*, 2020). Por su parte, Martínez-Montaña *et al.* (2021a) recuperaron mediante cambios de pH (pH shift) compuestos proteicos presentes en agua de cocción de atún y agua de cola de sardina, logrando identificar la presencia de AAs esenciales y actividad antioxidante *in vitro* (ABTS y FRAP). Además, Vázquez-Sánchez *et al.* (2021) demostraron que las proteínas aisladas por liofilización de agua de lavado generadas durante la producción de tilapia picada (*Oreochromis niloticus*), poseen un elevado contenido de AAs esenciales, elevada solubilidad en agua y una destacable propiedad espumante en un amplio rango de pH, así como actividad antioxidante *in vitro* medida por el barrido del 50% de los radicales (IC₅₀) ABTS y DPPH en la prueba, obteniendo valores de IC₅₀ de 17.46 y 8.58 mg/mL, respectivamente. En otro estudio se evaluó la recuperación de proteínas, las

propiedades funcionales y la actividad biológica del agua de proceso hervida y al vapor generada a partir de la preparación de huevas concentradas de lenguado japonés (*Paralichthys olivaceus*), bonito (*Katsuwonus pelamis*) y atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*), mediante el proceso de cocción en seco, encontrando que éstas poseen una buena capacidad espumante y emulsionante, así como actividad antioxidante medida por DPPH y ABTS. En cambio, las proteínas recuperadas al vapor mostraron actividad antihipertensiva medida por la capacidad inhibidora de la enzima convertidora de angiotensina I (ECA), siendo mayor dicha actividad en el lenguado japonés con un IC_{50} de 1.04 mg/mL (Yoon *et al.*, 2017). Usando estos mismos efluentes, pero sometidos a un proceso de precipitación y solubilización isoeléctrica, Lee *et al.*, (2017) obtuvieron la mejor actividad inhibidora de ECA en bonito ($IC_{50} = 1.52$ mg/ml) y un mayor poder reductor y actividad de tipo superóxido dismutasa para lenguado japonés. Por su parte, Mahdabi y Shekarabi (2018) evaluaron las características funcionales y propiedades antioxidantes de hidrolizados proteicos de harina y agua de cola de anchoveta (*Clupeonella sp.*). En dicho estudio se encontró que el agua de cola poseía potencial de aplicación, ya que los HP obtenidos de ésta exhibieron actividad antioxidante (con IC_{50} de 1.3 y 1.5 mg/mL para la eliminación de radicales DPPH y ABTS, respectivamente), una elevada solubilidad a pH neutro (93 %) y una baja viscosidad (lo que resulta deseable en algunos procesos industriales como bombeo y extrusión), además de poseer habilidad para inhibir la oxidación lipídica. Así mismo, Tremblay *et al.*, (2020) mediante ultrafiltración obtuvieron un concentrado de proteínas a partir de aguas de cocción del cangrejo azul de las nieves (*Chionoecetes opilio*), el cual además de poseer un buen contenido de AAs esenciales exhibió actividad antioxidante *in vitro* (medida por ORAC y DPPH) así como una buena capacidad de retención de aceite (1432 g de aceite por kg de muestra).

Si bien, los efluentes de la industria pesquera pueden contener *per se*, fracciones peptídicas con actividad biológica generados durante el procesamiento, ser recuperados y ser luego utilizados, muchos autores han logrado incrementar su potencial bioactivo mediante hidrólisis química, biológica o enzimática. Así, hidrolizados proteicos han sido producidos a partir de concentrados proteicos recuperados por ultrafiltración (MWCO de 30 y 10 kDa) de los efluentes generados en el procesamiento de la sepia (*Illex argentinus*), los cuales antes de ser hidrolizados ya exhibían actividad antihipertensiva y antioxidante, pero dichas

propiedades se incrementaron significativamente tras el proceso de hidrólisis (Amado *et al.*, 2013). Además, fue posible obtener por ultrafiltración fracciones menores a 1 kDa con actividad antihipertensiva (inhibición de ECA), en el que se encontraron péptidos que poseen en sus secuencias al menos un aminoácido hidrófobo y/o una prolina junto con residuos cargados positivamente en al menos una de las tres posiciones C-terminales (Amado *et al.*, 2014).

En otro estudio, en el cual se empleó como materia prima el agua de cocción de atún y realizando una hidrólisis proteica con proteasas obtenidas de *Aspergillus oryzae*, se lograron obtener productos con actividad antioxidante de los cuales se identificó la secuencia de 5 péptidos bioactivos con pesos moleculares del orden de 0.4 a 1 kDa, con capacidad de eliminación del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) (Jao y Co, 2002). Además, a partir de concentrados de proteína obtenidos por ultrafiltración secuencial de agua de cocción de camarón, han sido producido hidrolizados con una potente actividad ACE-inhibitoria (con IC₅₀ de 1.98, 9.87 y 23.10 µg/mL para fracciones de 300,100 y 30 kDa, respectivamente) y actividad blanqueo de betacaroteno (Amado *et al.*, 2016).

En un estudio reciente, aguas residuales de la perca del Nilo (*Lates niloticus*) han sido tratadas con *Bacillus* para producir hidrolizados proteicos, aislando una fracción menor a 2 kDa que exhibió actividad antimicrobiana sobre *Vibrio vulnificus* (CMI= 585 µg/mL), así como valores de IC₅₀ de 0.43 y 0.22 mg/mL para las pruebas antioxidantes con DPPH y ABTS, respectivamente (Mhina *et al.*, 2020)

4. Uso de proteínas o péptidos de efluentes pesqueros en la elaboración de dietas acuícolas.

A la fecha, el principal uso que se les da a proteínas, concentrados, hidrolizados y fracciones peptídicas obtenidas a partir de efluentes como de subproductos sólidos derivados de las industrias procesadoras pesqueras, es como ingredientes o suplementos alimenticios para la elaboración de dietas tanto para animales terrestres (como ganado, aves y mascotas) como para especies acuáticas. Considerando que los efluentes pesqueros poseen diferentes tipos de moléculas y partículas solubles en agua (por ejemplo, aminoácidos libres, péptidos y compuestos de bajo peso molecular tales como la taurina, creatinina, carnosina, etc.), su potencial bioactivo, al igual que el de sus derivados es alto. Uno los principales componentes

presentes en efluentes tales como el AC y sanguaza, es la taurina (Tau) (Martínez-Montaña *et al.*, 2021b) el cual, al ser un aminoácido libre no proteínogénico, se encuentra en altas concentraciones en fluidos corporales y algunos órganos. La producción de Tau se destina principalmente para la elaboración de alimento para gatos, fórmulas infantiles y bebidas energéticas; a su vez, existen reportes que mencionan que la incorporación de Tau en alimentos formulados para peces promueve el buen desarrollo y salud del sistema gastrointestinal y posee características citoprotectoras al reducir niveles de peroxidación lipídica en los organismos a los cuales se les suministra (Salze y Davis, 2015).

Efluentes tales como el AC, son a su vez una fuente potencial de AAs esenciales debido a las altas concentraciones que poseen de estos. Se ha estimado que, a partir de 120 000 ton de AC derivadas de la elaboración de harina de pescado en Sonora, México, 6 840 ton de AAs esenciales podrían ser recuperados, siendo los principales Lys y Leu (Valdez-Hurtado *et al.*, 2018). Por lo tanto, el AC tiene potencial para ser usado como suplemento de AAs esenciales para dietas formuladas con bajas concentraciones de harina de pescado y altas concentraciones de proteína vegetal proveniente principalmente de productos derivados de la soya (p. ej. harina y concentrados) y trigo (p.ej. trigo), los cuales se caracterizan por ser pobres en AAs azufrados tales como Tau y Met. En este sentido, en uno de los primeros trabajos donde se evaluó la inclusión de un efluente como ingrediente para la elaboración de alimentos acuícolas, Kousoulaki *et al.* (2009) reportaron que la inclusión de un concentrado de agua de cola de arenque en dietas pobres en harina de pescado (50 g/kg dieta) y ricas en proteína vegetal (630 g/kg dieta), tuvo un efecto promotor de crecimiento en juveniles de salmón del Atlántico (*Salmo salar*). Estos autores especulan que algunos componentes menores hidrosolubles presentes en el AC, principalmente la Tau y la hidroxiprolina fueron los responsables de estimular el crecimiento del salmón del Atlántico.

Otra estrategia propuesta para el uso de las proteínas presentes en los efluentes pesqueros es su hidrólisis para la obtención de fracciones polipeptídicas y AAs libres, y su posterior uso en la formulación de alimentos acuícolas. Para este efecto se han usado proteasas comerciales de origen vegetal tales como papaína y bromelina (Wu *et al.*, 2018), así como también alcalasa (Martínez-Montaña *et al.*, 2021b). Esto es interesante desde el punto de vista nutracéutico, pues se sabe que un proceso de hidrólisis mejora la calidad proteica (por ejemplo, mayor biodisponibilidad y bioaccesibilidad proteica) de distintos

ingredientes alimenticios. Por ejemplo, se ha reportado que la hidrólisis de AC genera péptidos de bajo peso molecular y AAs libres, los cuales al ser incluidos en un alimento rico en proteína vegetal para bagre amarillo (*Pelteobagrus fulvidraco*) regularon positivamente la de expresión de genes relacionados con transportadores intestinales de péptidos (PepT1), lo que mejoró la absorción intestinal de di- y tripéptidos provenientes de la digestión de proteínas alimenticias, lo que a su vez trae como consecuencia una mejora en el desempeño en crecimiento de los organismos (Wu *et al.*, 2018); sin embargo, altas concentraciones de péptidos < 500 Da en la dieta provocan una baja digestión y absorción de la proteína dietaria.

Otra de las bondades que tiene el uso de efluentes de la industria procesadora y sus derivados, son las potenciales propiedades bioactivas que poseen. Los efluentes tales como el agua de cocción y agua de cola contienen concentraciones importantes de péptidos (originados por proteólisis endógena y por degradación térmica) y otros compuestos de origen no proteínicos tales como carotenoides (principalmente en aguas de cocción de crustáceos), compuestos fenólicos, azúcares reductores y citratos (Pérez-Santín *et al.*, 2013). Estos compuestos generan propiedades antioxidantes en las fuentes que los poseen. Sin embargo, son pocos los trabajos que han evaluado el efecto bioactivo de proteínas y sus derivados provenientes de efluentes tales como el AC y agua de cocción, al ser incluidos en alimentos formulados para animales. Por otro lado, al poseer propiedades antioxidantes, los hidrolizados de proteína pueden ser adicionados a sistemas alimentarios susceptibles de rancidez oxidativa, con el fin de incrementar la estabilidad de alimentos ricos en ácidos grasos insaturados, además, los concentrados e hidrolizados de proteínas, pueden ser utilizados como ingredientes en la industria alimentaria por sus propiedades emulsificantes y espumantes (Mahdabi y Shekarabi, 2018).

En la siguiente Tabla 2, se mencionan recientes investigaciones que evaluaron la inclusión de efluentes pesqueros o sus hidrolizados proteicos en alimentos formulados para peces de importancia comercial, y su efecto en el desempeño en crecimiento, aprovechamiento alimenticio y distintos indicadores del estado de salud para algunas especies de peces de importancia comercial.

Tabla 2. Inclusión de efluentes pesqueros o sus hidrolizados proteicos y su efecto en el desempeño en crecimiento, aprovechamiento alimenticio e indicadores de salud reportados en peces de importancia comercial.

Efluente	Nivel de inclusión en el alimento acuícola	Organismo experimental	Respuesta obtenida	Referencia
Agua de cola de carcasa de atún, anchoveta y otros peces del mar de China Oriental y su hidrolizado proteico (Zhejiang Fengyu Marine Organism Products Company Limited)	Inclusiones dietarias de AC (83-249 g/kg), hidrolizados de AC (HAC; 78-233 g/kg) y harina de hidrolizado de AC (63-187 g/kg). Nivel de reemplazo óptimo: 80-90 g de HAC /kg dieta.	Bagre amarillo (<i>Pelteobagrus fulvidraco</i>) (peso corporal inicial 15.67±0.31 g)	Peces alimentados con dietas conteniendo HAC sin harina de pescado tuvieron un desempeño en crecimiento similar al de aquellos alimentados con dieta control. Peces alimentados con AC o con HAC en niveles mayores a 130g/kg en la dieta, tuvieron pobre crecimiento. Altas concentraciones de péptidos <500 Da afectan negativamente la digestión y absorción proteica de los peces.	Wu <i>et al.</i> , 2018
Agua de cola condensada de macarelas (<i>Decapterus macarellus</i> , <i>Rastrelliger brachysoma</i> , <i>Rastrelliger faughni</i> , <i>Rastrelliger kanagurta</i> y <i>Scomber australasicus</i>)	Reemplazo del 0 al 50% de la proteína de pescado por el AC en el alimento. Nivel de reemplazo óptimo: 20%.	Tilapia del Nilo (<i>O. niloticus</i>) sexualmente revertida (peso corporal inicial 18.49±0.31 g; pesos corporales finales: 207-235 g)	Tras 8 meses, no hubo diferencias en supervivencia, desempeño de crecimiento, utilización alimenticia y parámetros sanguíneos de los peces alimentados con dietas con AC con respecto al control (0% AC en el alimento); sin embargo, células acumulando lípidos y actividad de lipasas intestinales se incrementan con un aumento del AC en el alimento.	Wattanakul <i>et al.</i> , (2019)
Hidrolizado de agua de cola (HAC) (Zhejiang Fengyu Marine Organism Products Company Limited)	Reemplazo del 0 al 15% de la harina de pescado por el HAC en el alimento. Nivel de reemplazo óptimo: 10%.	Alevines de anguila de campos de arroz (<i>Monopterus albus</i>) (peso corporal inicial 25 g; pesos corporales finales: 50-56 g)	Tras 56 días, los peces alimentados con dietas conteniendo HAC mostraron un mejor desempeño del crecimiento, una mejor capacidad digestiva intestinal, un mejor metabolismo de lípidos en el hígado y una mejora de la estructura del epitelio intestinal. La inclusión de HAC no afectó su capacidad antioxidante.	Shi <i>et al.</i> , (2019)

Agua de cocción de atún (ACA) (No se indica la especie)	Dieta conteniendo un 7% y 11% de proteína y aceite de ACA.	Juveniles de perca regia (<i>Argyrosomus regius</i>) (peso corporal inicial 12.51 g; peso corporal final: 80.17±17.17g)	Tras 60 días, el crecimiento y conversión alimenticia fue menor en peces alimentados con dietas con ACA. El músculo de los peces alimentados con dietas conteniendo ACA contenían niveles de proteína, DHA y n-3 PUFA con respecto al control.	Estévez <i>et al.</i> , (2022)
---	--	---	--	--------------------------------

5. Conclusiones

Los efluentes pesqueros como el agua de cola y cocción se han asociado con efectos negativos al ambiente (si son descargados sin tratamiento), al poseer una gran cantidad de proteínas, pueden ser aprovechados en la obtención y generación de productos de alto valor como son los concentrados proteicos, hidrolizados proteicos (HP) y fracciones peptídicas. Los HP de agua de cola son reconocidos como fuentes de péptidos con propiedades bioactivas, AAs esenciales en proporciones considerables y no esenciales de importancia comercial, en particular la taurina. Por su parte, las aguas de cocción contienen péptidos y AAs hidrofóbicos que le confiere distintas propiedades bioactivas, entre las cuales destaca la actividad antioxidante. Por lo que el uso de efluentes como potenciales fuentes de ingredientes para la formulación de alimentos acuícolas funcionales, es prometedor, pero aun pobremente estudiado. La revalorización de los efluentes pesqueros podría coadyuvar a reducir los daños ambientales y abrir un campo de aprovechamiento en la industria. Finalmente, se recomienda realizar investigación cuyo objetivo sea evaluar los mecanismos a través de los cuales moléculas de origen proteico que muestren potencial bioactivo (p. ej. antioxidante, antimicrobiano, antiinflamatorio) y que sean derivadas de efluentes pesqueros, puedan ayudar en la mejora de la salud y desempeño productivo de organismos acuáticos de importancia comercial.

6. Agradecimientos

Los autores agradecemos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento otorgado al proyecto de Ciencia Básica (clave 258128): “Caracterización de las propiedades fisicoquímicas y bioactivas de hidrolizados proteicos obtenidos del agua de cola generada por la industria pesquera reductora”.

7. Referencias

- Amado, I. R., González, M. P., Murado, M. A., & Vázquez, J. A. (2016). Shrimp wastewater as a source of astaxanthin and bioactive peptides. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 91(3), 793-805.
- Amado, I. R., Vázquez, J. A., González, P., Esteban-Fernández, D., Carrera, M., & Piñeiro, C. (2014). Identification of the major ACE-inhibitory peptides produced by enzymatic hydrolysis of a protein concentrate from cuttlefish wastewater. *Marine Drugs*, 12(3), 1390-1405.
- Amado, I. R., Vázquez, J. A., González, M. P., & Murado, M. A. (2013). Production of antihypertensive and antioxidant activities by enzymatic hydrolysis of protein concentrates recovered by ultrafiltration from cuttlefish processing wastewaters. *Biochemical Engineering Journal*, 76, 43-54.
- Aanand, S., Divya, M., Deepak, T., Padmavathi, P., & Manimekalai, D. (2017). Review on seafood processing plant wastewater bioremediation—A potential tool for waste management. *International Journal of Applied Research*, 3(7), 01-04.
- Bello-Bugallo, P. M., Stupak, A., Andrade, L. C., & López, R. T. (2012). Material Flow Analysis in a cooked mussel processing industry. *Journal of Food Engineering*, 113(1), 100-117.
- Bethi, C. M., Narayan, B., Martin, A., & Kudre, T. G. (2020). Recovery, physicochemical and functional characteristics of proteins from different meat processing wastewater streams. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(20), 25119-25131.
- Bruno, S. F., Ekorong, F. J. A. A., Karkal, S. S., Cathrine, M. S. B., & Kudre, T. G. (2019). Green and innovative techniques for recovery of valuable compounds from seafood by-products and discards: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 85, 10-22.
- Calabrò, V., & Basile, A. (2011). Fundamental membrane processes, science and engineering *Advanced Membrane Science and Technology for Sustainable Energy and Environmental Applications* (pp. 3-21): Elsevier.
- Estévez, A., Blanco, B., Fernández, L., Ferreira, M., & Soula, M. (2022). Effects of alternative and sustainable ingredients, insect meal, microalgae and protein and lipid from tuna cooking water, on meagre (*Argyrosomus regius*) growth, food conversion and muscle and liver composition. *Aquaculture*, 548, 737549.
- FAO. 2020. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción. Roma.
- Fahim, F. A., Fleita, D. H., Ibrahim, A. M., & El-Dars, F. M. (2001). Evaluation of some methods for fish canning wastewater treatment. *Water, Air, and Soil Pollution*, 127(1), 205-226.
- Forghani, B., Bordes, R., Ström, A., & Undeland, I. (2020). Recovery of a protein-rich biomass from shrimp (*Pandalus borealis*) boiling water: a colloidal study. *Food chemistry*, 302, 125299.
- Girgih, A. T., He, R., Hasan, F. M., Udenigwe, C. C., Gill, T. A., & Aluko, R. E. (2015). Evaluation of the *in vitro* antioxidant properties of a cod (*Gadus morhua*) protein hydrolysate and peptide fractions. *Food Chemistry*, 173, 652-659.
- Gómez, M. T., Iglesias, A. M., López, R. T., & Bugallo, P. B. (2016). Towards sustainable systems configurations: application to an existing fish and seafood canning industry. *Journal of Cleaner Production*, 129, 374-383.

- Greyling, N., Bordoloi, A., & Goosen, N. J. (2020). Optimising enzymatic conditions of monkfish (*Lophius vomerinus*) heads hydrolysis towards potential waste biomass valorisation. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00650-z>
- Hung, C. C., Yang, Y. H., Kuo, P. F., & Hsu, K. C. (2014). Protein hydrolysates from tuna cooking juice inhibit cell growth and induce apoptosis of human breast cancer cell line MCF-7. *Journal of Functional Foods*, 11, 563-570.
- Jao, C.-L., & Ko, W.-C. (2002). 1, 1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging by protein hydrolyzates from tuna cooking juice. *Fisheries Science*, 68(2), 430-435.
- Kasiwut, J., Youravong, W., & Sirinupong, N. (2019). Angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptides produced from tuna cooking juice hydrolysate by continuous enzymatic membrane reactor. *Journal of Food Biochemistry*, 43(12), e13058.
- Kousoulaki, K., Albrektsen, S., Langmyhr, E., Olsen, H.J., Campbell, P. & Aksnes, A. (2009). The water soluble fraction in fish meal (stickwater) stimulates growth in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) given high plant protein diets. *Aquaculture*, 289, 74-83.
- Kumar, P., Sharma, N., Ranjan, R., Kumar, S., Bhat, Z., & Jeong, D. K. (2013). Perspective of membrane technology in dairy industry: A review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 26(9), 1347.
- Lee, J. K., Li-Chan, E. C., Jeon, J.-K., & Byun, H.-G. (Eds.). (2014). *Development of functional materials from seafood by-products by membrane separation technology*: Springer.
- Lee, G. W., Yoon, I. S., Kang, S. I., Lee, S. G., Kim, J. I., Kim, J. S., & Heu, M. S. (2017). Functionality and biological activity of isolate processed water generated during protein isolate preparation of fish roes using an isoelectric solubilization and precipitation process. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 50(6), 694-706.
- Mahdabi, M., & Hosseini Shekarabi, S. P. (2018). A comparative study on some functional and antioxidant properties of kilka meat, fishmeal, and stickwater protein hydrolysates. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 27(7), 844-858.
- Marti-Quijal, F. J., Remize, F., Meca, G., Ferrer, E., Ruiz, M. J., & Barba, F. J. (2020). Fermentation in fish and by-products processing: An overview of current research and future prospects. *Current Opinion in Food Science*, 31, 9-16.
- Martínez-Montaño, E., Osuna-Ruíz, I., Benítez-García, I., Osuna, C. O., Pacheco-Aguilar, R., Navarro-Peraza, R. S., ... & Salazar-Leyva, J. A. (2021a). Biochemical and antioxidant properties of recovered solids with pH shift from fishery effluents (sardine stickwater and tuna cooking water). *Waste and Biomass Valorization*, 12(4), 1901-1913.
- Martínez-Montaño, E., Sarmiento-Machado, R. M., Benítez-García, I., Pacheco-Aguilar, R., Navarro-Peraza, R. S., Sánchez, M. E. L., ... & Leyva, J. A. S. (2021b). Effect of degree of hydrolysis on biochemical properties and biological activities (antioxidant and antihypertensive) of protein hydrolysates from Pacific thread herring (*Ophistonema libertate*) stickwater. *Waste and Biomass Valorization*, <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01590-z>

- Matak, K. E., Tahergorabi, R., & Jaczynski, J. (2015). A review: Protein isolates recovered by isoelectric solubilization/precipitation processing from muscle food by-products as a component of nutraceutical foods. *Food Research International*, 77, 697-703.
- Medina Uzcátegui, L. U., Vergara, K., & Martínez Bordes, G. (2021). Sustainable alternatives for by-products derived from industrial mussel processing: A critical review. *Waste Management & Research*, 0734242X21996808. <https://doi.org/10.1177/0734242X21996808>
- Mhina, C. F., Jung, H. Y., & Kim, J. K. (2020). Recovery of antioxidant and antimicrobial peptides through the reutilization of Nile perch wastewater by biodegradation using two *Bacillus* species. *Chemosphere*, 253, 126728.
- Navarro-Peraza, R. S., Osuna-Ruiz, I., Lugo-Sánchez, M. E., Pacheco-Aguilar, R., Ramírez-Suárez, J. C., Burgos-Hernández, A., ... & Salazar-Leyva, J. A. (2020). Structural and biological properties of protein hydrolysates from seafood by-products: a review focused on fishery effluents. *Food Science and Technology*, 40, 1-5.
- Pacheco-Aguilar, R., De la Barca, A. M., Castillo-Yañez, F. J., Marqués-Ríos, E., García-Carreño, F. L., & Valdez-Hurtado, S. (2018). Comparación del efecto de dos tratamientos enzimáticos con actividad colagenasa y una centrifugación complementaria en las características fisicoquímicas del agua de cola generada por la industria sardinera. *Biotecnia*, 20(3), 58-64.
- Pasupuleti, V. K., & Braun, S. (Eds.). (2008). *State of the art manufacturing of protein hydrolysates*: Springer.
- Pérez-Santín, E., Calvo, M. M., López-Caballero, M. E., Montero, P., & Gómez-Guillén, M. C. (2013). Compositional properties and bioactive potential of waste material from shrimp cooking juice. *LWT-Food Science and Technology*, 54(1), 87-94.
- Prieto, M. A., Prieto, I., Vázquez, J. A., & Ferreira, I. C. (2015). An environmental management industrial solution for the treatment and reuse of mussel wastewaters. *Science of the Total Environment*, 538, 117-128.
- Salze, G.P. & Davis, D.A. (2015). Taurine: a critical nutrient for future fish feeds. *Aquaculture*, 437, 215-229.
- Shi, Y., Zhong, L., Ma, X., Liu, Y., Tang, T., & Hu, Y. (2019). Effect of replacing fishmeal with stickwater hydrolysate on the growth, serum biochemical indexes, immune indexes, intestinal histology and microbiota of rice field eel (*Monopterus albus*). *Aquaculture Reports*, 15, 100223.
- Tang, W., Zhang, H., Wang, L., Qian, H., & Qi, X. (2015). Targeted separation of antibacterial peptide from protein hydrolysate of anchovy cooking wastewater by equilibrium dialysis. *Food Chemistry*, 168, 115-123.
- Taskaya, L., & Jaczynski, J. (2009). Flocculation-enhanced protein recovery from fish processing by-products by isoelectric solubilization/precipitation. *LWT-Food Science and Technology*, 42(2), 570-575.
- Tavano, O. L. (2013). Protein hydrolysis using proteases: An important tool for food biotechnology. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 90, 1-11.
- Tremblay, A., Corcuff, R., Goulet, C., Godefroy, S. B., Doyen, A., & Beaulieu, L. (2020). Valorization of snow crab (*Chionoecetes opilio*) cooking effluents for food applications. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(1), 384-393.
- Valdez-Hurtado, S., Goycolea-Valencia, F., & Márquez-Ríos, E. (2018). Efecto de una centrifugación complementaria en la composición química y reológica del agua de cola. *Biotecnia*, 20(2), 95-103.

- Vázquez-Sánchez, D., Leite, S. B., Galvão, J. A., & Oetterer, M. (2021). Composition, functional properties, antioxidant activity and efficiency as bacterial growth medium of minced tilapia (*Oreochromis niloticus*) wash-water. *Waste and Biomass Valorization*, 12, 4375–4386. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01324-7>
- Venugopal, V., & Sasidharan, A. (2021). Seafood industry effluents: environmental hazards, treatment and resource recovery. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(2), 104758.
- Venugopal, V. (2021). Valorization of seafood processing discards: bioconversion and bio-refinery approaches. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 132.
- Wattanukul, U., Wattanakul, W., & Thongprajukaew, K. (2019). Optimal replacement of fish meal protein by stick water in diet of sex-reversed Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Animals*, 9(8), 521.
- Wu, D., Zhou, L., Gao, M., Wang, M., Wang, B., He, J., ... & Pu, Q. (2018). Effects of stickwater hydrolysates on growth performance for yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). *Aquaculture*, 488, 161-173.
- Ye, A. (2008). Complexation between milk proteins and polysaccharides via electrostatic interaction: principles and applications—a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 43(3), 406-415.
- Yoon, I. S., Lee, G. W., Kang, S. I., Park, S. Y., Kim, J. S., & Heu, M. S. (2017). Food functionality and biological activity of processed waters produced during the preparation of fish roe concentrates by cook-dried process. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 50(5), 506-519.