

© 2022 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.

Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 25: 1-16, 2022.

<https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.512>

Aguas residuales de la industria pesquera: Retos y oportunidades en la recuperación de proteínas y péptidos con alto valor biológico y funcional- Una revisión

Aarón Jonary Santiaguín-Padilla¹, Francisco Cadena-Cadena^{2*}, Joé Luis Arias-Moscoso²,
Alba Rocío Meza-Ochoa², Jony Ramiro Torres-Velázquez², Felipe de Jesús Reynaga-Franco²,
Dulce Alondra Cuevas-Acuña¹ y Alba Mery Garzón-García¹

¹Universidad de Sonora, Departamento de Investigación y Posgrado de Alimentos, Blvd. Luis Encinas y Rosales s/n, Col. Centro, Hermosillo 83000, Sonora, México. ²Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui, Departamento de Ingenierías, Calle 600, Block 611, Bácum, 85276, Sonora, México. E-mail: *fcadena.cadena@itvy.edu.mx

RESUMEN

Las aguas residuales que provienen de las industrias del enlatado o de las reductoras de pescados, son una fuente rica en una gran variedad de compuestos químicos de interés industrial y de otros altamente perjudiciales para el medio ambiente. Con el fin de reducir el impacto negativo de estos efluentes en los ecosistemas marinos, se han desarrollado diversas técnicas para establecer procedimientos de remoción de los sólidos y recuperación de los nutrientes, como las proteínas para aplicaciones en la industria alimentaria, agroquímica y farmacéutica. Estas proteínas son concentradas mediante una variedad de métodos, siendo el más utilizado la ultrafiltración. Sin embargo, son varias las técnicas de recuperación y modificación de los productos pesqueros que mejoran las cualidades nutricionales, funcionales y biológicas de los concentrados de proteínas en las aguas residuales. En esta revisión, se examinan y se discuten las técnicas no sólo para el tratamiento de los sólidos de las aguas residuales de la industria del enlatado y de la reductora de pescado, sino también de los compuestos químicos presentes y de otros fluidos resultado del procesamiento de los productos de la pesca, con especial mención del uso de la ultrafiltración para la obtención de las proteínas destinadas a las industrias citadas al inicio.

Palabras clave: agua residual, compuestos bioactivos, recuperación de proteínas.

Challenge and opportunities in the recovery of high value biological and functional proteins and peptides- A review

ABSTRACT

Wastewater from canning or fishmeal industries is considered a good source of several chemical compounds. To reduce the negative impact of these effluents on the marine ecosystems different techniques have been developed to remove solids, as well as to recover nutrients, like proteins, which can be employed in industries like food, agrochemical, or pharmaceutical. These proteins can be concentrated by ultrafiltration and nanofiltration systems. This methodology allows proteins with better nutrition quality and biological activities. This review examined and discussed several treatment technologies applied to recover solids from the canning and fishmeal industries, also the opportunity for the extraction of chemical compounds. Highlight in discussion the potential applications of the ultrafiltration on recovering functional and biological proteins from wastewater fish industries.

Key words: wastewater, bioactive compounds, protein recover.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la industria pesquera ha enfrentado varios problemas, uno de los más importantes surgió a raíz del incremento en la producción del pescado, lo que generó un considerable aumento de los residuos con graves daños al medio ambiente. Estos residuos son el resultado de varios procesamientos tradicionales de pescados y mariscos, como son: el congelado, el secado, el ahumado y el enlatado. Los organismos marinos son previamente eviscerados y según lo que se quiere obtener de ellos se elimina por ejemplo la cabeza y la piel, siendo el filete el producto de mayor interés para el consumo humano y con estas acciones se generan los subproductos (Gildberg, 2004; Rustad, Storro & Slizyte, 2011). En el caso de los efluentes, por lo general son descartados en el mar sin ningún tratamiento o valor agregado (Saidi, Saoudi, Amar & Ben, 2018). Aunque el contenido de los efluentes sean sólidos y su composición dependa de la especie utilizada y del tipo de proceso al que fueron sometidos para su transformación, es común que requieran de una alta demanda de oxígeno (Amado, Vázquez, González & Murado, 2013), de los procesos aplicados a los diferentes organismos marinos, el considerado de más utilidad es el enlatado en la elaboración de conservas (Amado, González, Murado & Vázquez, 2016; Massé *et al.*, 2008), ya que favorece la comercialización y el consumo de los productos pesqueros. Sin embargo, durante las diversas etapas de este proceso se generan una gran cantidad de efluentes ricos en diferentes compuestos orgánicos, por ejemplo, durante la etapa de cocción, el agua residual contiene un 65% de ellos (Pacheco-Aguilar, Soto, Ruiz, Carreño & Ríos, 2009), y se ha reportado que aproximadamente el 80% de los mismos son proteínas, compuestos aromáticos, y ácidos grasos (García-Sifuentes *et al.*, 2009a). Otra de las industrias pesqueras importantes es la reductora de pescado, presente en varias partes del mundo. Esta industria se ha expandido considerablemente gracias al incremento en el cultivo de los organismos acuáticos. Uno de los principales fines de la industria reductora de pescado es la producción de harina de pescado que sirve para la formulación de alimento en la acuicultura. Sin embargo, como en cualquier industria, implica varios pasos que generan grandes volúmenes de efluentes (aproximadamente 20-40 m³/h para una planta con capacidad de 100 ton pescado/h) (Afonso & Bórquez, 2003; Hadizadeh, Mehrgan & Shekarabi, 2020). En esta industria, después de la cocción de la materia prima se somete a una etapa de prensado donde se genera un líquido, posteriormente a una centrifugación que produce una emulsión de aceite en agua que va acompañada de proteínas y otros compuestos orgánicos, denominada agua de cola (AC) (Castillo, Rao & Liuzzo, 1987). Esta AC puede llegar a contener hasta un 10% de proteína (Goycoolea, Nieblas, Noriega & Higuera-Ciapara, 1997). Debido a lo anterior, existen una serie de regulaciones para implementar sistemas adecuados en el manejo y tratamiento de los productos desechados (Wang, Aulenbach & Shammas, 2010), con el fin de mitigar el deterioro ambiental

que se presenta en las zonas costeras de muchos países. Ahora bien, debido a la heterogeneidad de los residuos presentes en las aguas residuales, se han desarrollado una diversidad de métodos para su tratamiento adecuado (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2018).

Los tratamientos primarios realizados en las aguas residuales involucran la remoción de los sólidos suspendidos a través de un proceso de sedimentación, coagulación-floculación y flotación (Cristóvão *et al.*, 2015a). Los sólidos, al poseer una alta concentración de proteínas pueden ser sometidos a diferentes tratamientos y ser aprovechados en diferentes tipos de industrias como la de los alimentos, la agroquímica o la farmacéutica (Amado *et al.*, 2013; Sathivel *et al.*, 2003).

En la última década, una de las tecnologías más empleadas para concentrar las proteínas presentes en las aguas residuales de las industrias pesqueras son los procesos de separación por membranas, principalmente la ultrafiltración (Amado *et al.*, 2013; Shukla, Mazahir, Chaturvedi & Agarwal, 2020; Afonso & Bórquez, 2003). Este tipo de tecnología ha permitido obtener proteínas de mayor calidad, tradicionalmente destinadas al consumo animal. Sin embargo, existen varios reportes que mencionan la producción de compuestos con actividad antioxidante, antihipertensiva, antitumoral e hipolipodémica (Amado *et al.*, 2016; Hung, Yang, Kuo & Hsu, 2014). Las ventajas de utilizar este tipo de procedimiento radica en su bajo costo y en la posibilidad de volver a utilizar la membrana por estar construida con materiales orgánicos, plásticos y cerámicos (Nunes *et al.*, 2020).

Por ello, resulta importante examinar y discutir las diferentes técnicas que se utilizan para tratar el AC, y las que se han enfocado en recuperar proteínas y péptidos con propiedades funcionales. La idea central de esta revisión es también evaluar los retos y las oportunidades que hay en torno a la obtención de los productos de interés comercial a partir de las aguas residuales que se generan durante el procesamiento de las especies marinas para el consumo humano, así como de la industria reductora de pescado.

GENERACIÓN DE EFLUENTES EN LA INDUSTRIA PESQUERA Y SU IMPACTO EN EL MEDIO AMBIENTE

El impacto ambiental en las zonas costeras es muy alto al ser receptoras de diversos tipos de contaminantes. Sin embargo, los de mayor importancia son los residuos que poseen una alta carga orgánica y un alto nivel de nutriente proveniente principalmente de los desechos de la agricultura y la acuicultura (Lomas *et al.*, 2005).

Se ha señalado la responsabilidad de la industria pesquera en más de la mitad de la contaminación ambiental en las costas cercanas a las plantas de procesamiento del pescado, por desechar efluentes que provienen del lavado, el deshielo, el

enjuague y la cocción. Estos efluentes presentan una diversidad de componentes químicos, que terminan por contaminar el medio ambiente en donde son descartados (Chowdhury, Viraraghavan & Srinivasan, 2010; Parvathy, Jeyakumari & Zynudheen, 2017). Cabe resaltar que según el tipo de tratamiento post-captura, que por lo general es el tradicional, y los procesos industriales aplicados a los residuos para su transformación se obtiene entre un 20 a un 60% de ellos (FAO, 2018; Rustad, Storro & Slizyte, 2011). En la Figura 1 se muestra el esquema de la obtención del agua de harina de pescado en el que los productos finales son la harina y el aceite de pescado, además del agua de cola.

Las distintas tonalidades que puede tomar el efluente (coloraciones intensas amarillo-verdoso o crema) y el fuerte olor que poseen las aguas residuales de la industria procesadora de pescados, son por las variaciones de las propiedades biológicas y las fisicoquímicas de este residuo (salinidad, oxígeno disuelto, demanda bioquímica del oxígeno y nutrientes, entre otros) (Afonso & Bórquez, 2003). Se ha observado que en las columnas de agua y los sedimentos donde las aguas residuales son arrojadas, la concentración de la materia orgánica y la turbidez es mucho mayor que en los lugares libres de este

residuo. El problema radica en que este contaminante no es degradado y permanece por un largo tiempo formando parte de los problemas más comunes en las zonas donde se ubican estas empresas (Castro, Álvarez, Gómez & López, 2020; Chowdhury *et al.*, 2010; García-Sifuentes, Pacheco-Aguilar, Carvallo-Ruiz, Lugo-Sánchez & García Sánchez, 2014).

En cuanto a los principales componentes identificados en los efluentes se encuentran las proteínas, los lípidos y la sal. Generalmente, los residuos de la cocción en la industria pesquera contienen entre 10–20 g/L de la demanda química de oxígeno (DQO), residuos de carbohidratos (en menor concentración) y 20–30 g/L de sal (Massé *et al.*, 2008). En la Tabla I se muestra un resumen de los principales contaminantes detectados en los efluentes generados por diferentes plantas procesadoras de productos pesqueros y se aprecia que los niveles de materia orgánica, medida a través de la demanda química y biológica del oxígeno (DQO y DBO) son sumamente altos. En los efluentes de sardinas, se observa que la DQO y la DBO son de hasta un 15.76 g/L mayor que la reportada para los efluentes del hervido de sepia de la industria reductora de sardina y de la cocción del camarón. En cuanto a los contaminantes el más

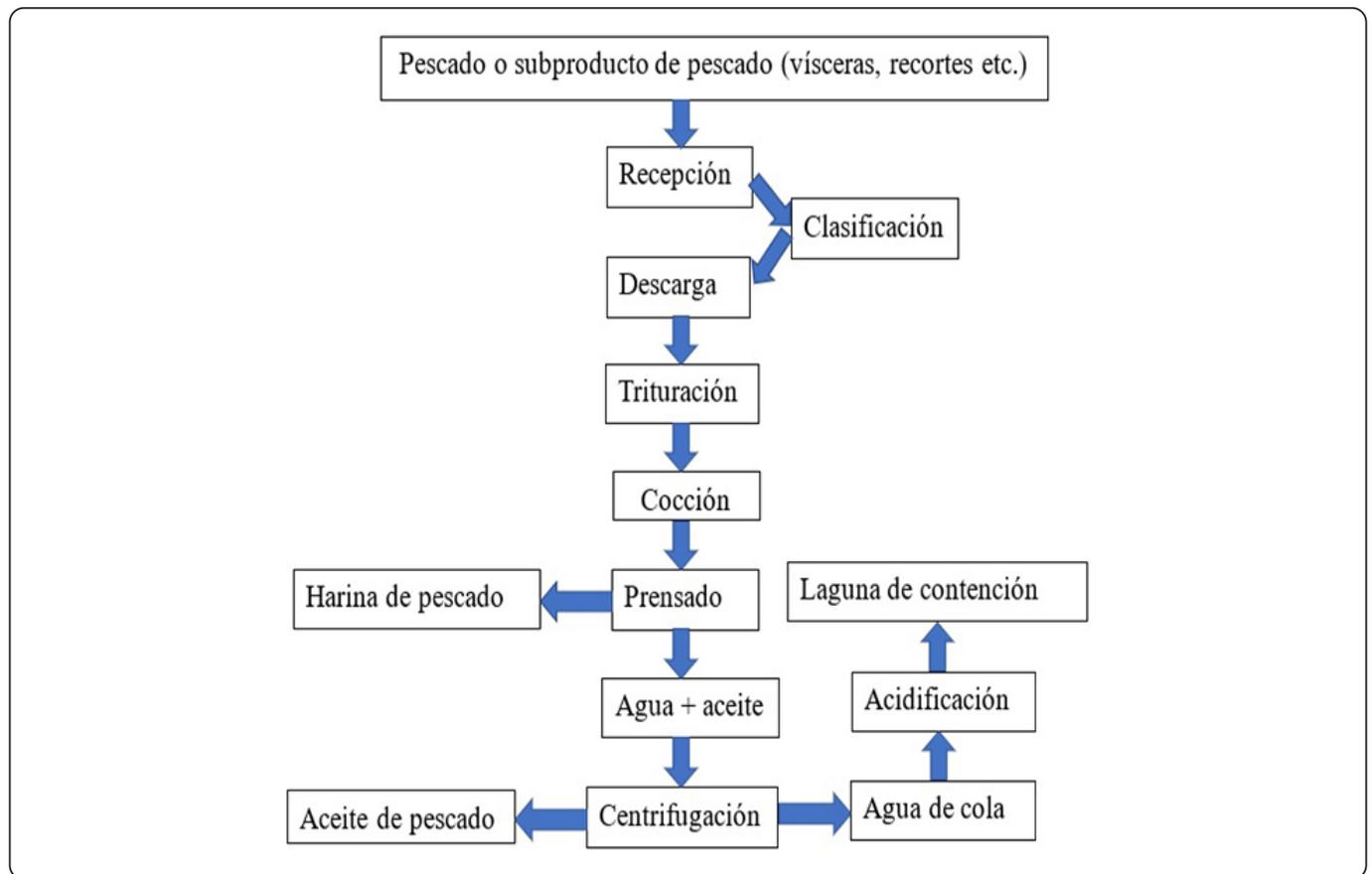


Figura 1. Esquema del proceso para la obtención de la harina y el aceite de pescado, además del agua de cola (Modificado de Gómez *et al.*, 2022).

Tabla I. Demanda Química y Biológica del Oxígeno (DQO, DBO) en función del contenido de la materia orgánica en los efluentes del procesamiento de las especies pesqueras

Fuentes	Contaminantes	DQO	DBO	Referencias
Jugo de la cocción del camarón	Materia orgánica 1 g/L	1.14 g /L	-	(Bourseau <i>et al.</i> , 2014)
Aguas residuales de la industria del pescado enlatado	Proteína 0.70–0.84 g/L	2.90–4 (g/L)	1.10–1.30 (g/L)	(Castro <i>et al.</i> , 2020; García-Sandá, Prieto & Lema 2004)
AC de la industria reductora de la sardina	Totales de sólidos 9.2% Proteína 5.8%	131.2 (g/O ₂ /L)	48.5 (g /O ₂ /L)	(García-Sifuentes, Aguilar, Gisela & Ruiz, 2011)
Efluente de hervido del procesamiento industrial de la sepia (<i>Illex argentinus</i>)	Proteína soluble 3.45 (g/L)	3.22 (g/O ₂ /L)		(Amado <i>et al.</i> , 2013)
Aguas residuales de la cocción del camarón (<i>Penaeus vannamei</i>)	Proteína soluble 3.09 ± 0.16 (g/L)	0.767 (g/ O ₂ /L)	-	(Amado <i>et al.</i> , 2016)
Efluente del procesamiento de la sardina (<i>Sardinella</i> sp.)	Nitrógeno Kjeldahl total 0.13 (g/L) Sólidos totales 2.27 (g/L)	6-15.76 (g/L)	2.12 (g/L)	(Ramírez-Duarte, Jin, Kurobe & Teh, 2016)
Salmueras del marinado del arenque (<i>Clupea harengus</i>)	Total de sólidos suspendidos 16 (g/L)	124 (g/L)	23 (g/L)	(Gringer <i>et al.</i> , 2014)
Efluentes de la industria procesadora de atún en conserva	Total de sólidos suspendidos 5 (g/L)	2.56 (g/L)	2.29 (g/L)	(Leal <i>et al.</i> , 2015)
AC de la sardina crinuda (<i>Sardinops sagax</i>) y de la sardina Monterrey (<i>Opisthonema libertate</i>)	Sólidos totales 11.2 ± 0.05 g/L Proteína 5.2 ± 0.34 g/L	0.09 ± 0.004 (mg/ O ₂ /L)	0.04 ± 0.0031 (g/ O ₂ /L)	(Valdez-Hurtado, Goycolea-Valencia & Márquez-Ríos, 2018)

común es la proteína insoluble con 11 g/L y presencia de sólidos muy variables, algunos investigadores afirman que el agua de cola se comporta como un fluido no newtoniano (Goycolea *et al.*, 1997) cuyos sólidos se encuentran entre un 6 y 44%. El comportamiento de este fluido se asemeja a un pseudoplástico por la modificación en su viscosidad, la alteración en su salinidad y el contenido nutrimental del sedimento, así como el agua de mar de la zona (García-Sifuentes *et al.*, 2009a).

TRATAMIENTOS PARA LAS AGUAS RESIDUALES

Son varias las metodologías que han sido descritas en la literatura para el tratamiento de los efluentes derivados de la industria procesadora de pescado. Sin embargo, las más aplicadas son los procesos de ultrafiltración, el sistema de flotación por aire disuelto, la evaporación al vacío, la centrifugación, la precipitación fisicoquímica y el tratamiento aerobio. El pretratamiento y el tratamiento primario comprenden la incorporación de agentes químicos, biológicos y fuerza mecánica (cribado, ajustes de flujo, neutralización, flotación por aire y sedimentación).

Los tratamientos preliminares tienen como objetivo eliminar las grasas, proteínas y sólidos (huesos, carne, escamas

y otros residuos de materia orgánica), porque aumentan significativamente la DBO y dificultan la eficiencia de posteriores tratamientos con agentes biológicos (Graciano-Verdugo *et al.*, 2014; García-Sifuentes *et al.*, 2009b). En la Tabla II se ven los estudios efectuados para el tratamiento de aguas residuales provenientes del procesamiento de los productos de la pesca. El diseño de un tratamiento específico para aguas residuales de la industria pesquera tiene sus inconvenientes, ya que varían considerablemente por hora, por día, semana, temporada de pesca y el organismo en proceso, por ende, lo primero es realizar un muestreo y un análisis fisicoquímico del agua. Para el muestreo se sugiere hacerlo cada hora durante un lapso de 24 horas con el fin de identificar los picos de carga contaminante, así como el flujo y duración de éstos (Casares, 2012; Vázquez-Burgos *et al.*, 2019). En cuanto a la caracterización, (concentración de sólidos, materia orgánica y nutrientes) es conveniente el análisis del pH y temperatura del efluente porque los principales parámetros operacionales seleccionados para la aplicación de cualquier tratamiento dependen del pH, temperatura y el tiempo de retención hidráulico del agua residual (Guerrero, Omil, Mendez & Lema, 1998). Reducir la contaminación no es un reto fácil, la eliminación y disposición de los desechos provenientes de la industrialización de productos de la pesca, no solo plantea

Tabla II. Tratamiento a los efluentes de la industria pesquera.

Estudios	Sistemas	Métodos	Resultados	Referencias
Efluentes de la industria harinera	Ultrafiltración por membranas	Físico	Recuperación de las proteínas Se redujo la cantidad de materia orgánica en el agua de cola	(Afonso, Ferrer & Bórquez, 2004)
Proteínas de pescado en aguas residuales	Ajuste del pH al punto isoeléctrico por adición de los ácidos	Fisicoquímico	Precipitación de los sólidos	(Genovese & González, 1998)
AC del arenque	Ajuste del pH con los ácidos y el tratamiento térmico por aplicación de calor	Fisicoquímico	Recuperación de los sólidos y clarificación del AC	(Castillo <i>et al.</i> , 1987)
Aguas de desecho de la industria del atún	Biorreactores aerobios y anaerobios	Biológico	La digestión anaerobia reduce los olores Reducción de los sólidos Reducción del 90% de la DQO	(Achour, Khelifi, Bouazizi & Hamdi, 2000)
AC de la industria pesquera	Tratamiento enzimático (Alcalasa y Neutrasa)	Químico	Aumento en la capacidad de evaporación del AC en un 74% para la recuperación de los sólidos	(Jacobsen, 1985)
AC de la industria reductora de la sardina	Centrifugación, Ajuste del pH y la Ultrafiltración,	Fisicoquímico	Mejora en la remoción de los sólidos Clarificación de los efluentes Disminución de la DBO5 y la DQO	(García-Sifuentes <i>et al.</i> , 2011)
Aguas residuales de la industria harinera de pescado	Floculación y aplicación de los biopolímeros	Fisicoquímico	Remoción del 91.84% de la materia orgánica en el efluente	(Arias-Lizárraga & Méndez-Gómez, 2014)
AC de la industria reductora de la sardina	Centrifugación y ajuste del pH en la zona ácida y alcalina	Fisicoquímico	Generación de los efluentes más homogéneos Disminución de la DQO y la DBO5	(García-Sifuentes <i>et al.</i> , 2014)
Aguas residuales del pescado enlatado	Reactor biológico con lodos activados	Biológico	Reducción del 88% de la materia orgánica en el efluente	(Cristóvão <i>et al.</i> , 2015a)
AC de la sardina crinuda (<i>Sardinops sagax</i>) y de la sardina Monterrey (<i>Opisthonema libertate</i>)	Centrifugación complementaria	Físico	Recuperación de lípidos de un 92.3% a un 98.9% Recuperación de los sólidos sedimentables Reducción de la DQO de un 56.6% a 41.7% y de la DBO5 es de 70.4% a 44.9%	(Valdez-Hurtado <i>et al.</i> , 2018)
AC de la industria sardinera	Centrifugación suplementaria y el uso de las enzimas de las vísceras de la sardina	Fisicoquímico	Reducción significativa en la viscosidad de un 22% a 73.5%	(Pacheco-Aguilar <i>et al.</i> , 2018)
AC de la industria harinera de la anchoveta (<i>Engraulis mordax</i> y <i>Cetengraulis mysticetus</i>)	Ultrafiltración por membranas, Ajuste del pH y adición de los ácidos y los pulsos ultrasónicos	Fisicoquímico	Recuperación de las proteínas, reducción de los sólidos totales y la clarificación del AC	(Cadena-Cadena <i>et al.</i> , 2022)

problemas ambientales, sino también económicos y logísticos, en algunos casos no se cuenta con la infraestructura necesaria para realizar el tratamiento de manera adecuada (Cristóvão *et al.*, 2015b).

EFLUENTES DE LA INDUSTRIA REDUCTORA

En México, las pesquerías industriales de mayor generación de residuos son las del camarón, el atún y la sardina, cuyas aguas residuales tienen una gran cantidad de partículas contaminantes disueltas (Leal, Panta, Ferrín, Cabo & Rodríguez, 2015; Pacheco-Aguilar *et al.*, 2009). Estas industrias han tenido la capacidad de crear una gran infraestructura en los puertos y convertirse en el pilar del desarrollo económico de la región. Sin embargo, una de las consecuencias de este crecimiento es la contaminación de las bahías. En Guaymas y Yavaros en el año 2000 se vertieron, en ellas, cerca de 120,000 t de AC con más de 8,700 t de sólidos disueltos (García-Sifuentes *et al.*, 2009a). Se sabe que una empresa productora de harina de pescado puede llegar a producir más de 4,000 t de AC por año. Los desechos de pescado después del procesamiento alcanzan hasta 45 millones de toneladas lo que representa más del 65% del mismo y en la mayoría de las ocasiones no se dispone de un adecuado manejo de los subproductos (Gómez, Lara & Valenzela, 2022). Los residuos provenientes de la industria reductora de sardina (harina de pescado) son considerados los

principales causantes del deterioro directo de los esteros y las bahías aledañas debido a la descarga de los efluentes como la sanguaza, las aguas de sentina, y el AC (García-Sifuentes *et al.*, 2009a). Esta última genera mayor contaminación en los ecosistemas marinos porque representa entre el 50 y el 70% del peso de la materia prima antes del proceso de reducción para la elaboración de la harina (Bechtel, 2005).

Por lo general el AC tiende a acumular materia insoluble en la superficie cuando se le deja en reposo (Del Valle & Aguilera, 1991). Habitualmente está conformada del 8–10% de sólidos totales, 5.6% de proteína, 0.6% de grasa, 1.8% de cenizas y 92% de humedad (Goycoolea *et al.*, 1997). En la Tabla III se muestra la composición proximal en base seca y húmeda del AC resultado del procesamiento de la harina de diversas especies de pescados. El análisis de la composición proximal del AC proveniente de una mezcla de sardina Monterrey (*Sardinops sagax caerulea*), anchoveta california (*Engraulis mordax*), anchoveta del Pacífico (*Cetengraulis mysticetus*) y macarela (*Scomber japonicus*) recolectada en Guaymas, Sonora, México reporta valores del: 9.2%, 5.8%, 1.6% y 1.4% para contenido de sólidos totales, proteína, ceniza y grasa, respectivamente (García-Sifuentes *et al.*, 2014b). A partir de la mezcla de los subproductos del bacalao, del abadejo de Alaska y del salmón, se obtuvo un contenido de proteína del 86.16 y 82.07%,

Tabla III. Contenido proximal de los efluentes de la producción de la harina de pescado de diversas especies.

Fuentes	Sólidos totales (%)	Humedad (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	Ceniza (%)	Referencias
AC de la sardina Monterrey, anchoveta california, anchoveta del Pacífico y macarela.	9.2		5.8	1.4	1.6	(García-Sifuentes <i>et al.</i> , 2011)
AC de <i>Sardinops sagax caerulea</i> , <i>Engraulis mordax</i> , <i>Cetengraulis mysticetus</i> y <i>Scomber japonicus</i>	9.5	-	4.7	1.8	1.7	(García-Sifuentes <i>et al.</i> , 2014)
AC de la sardina Monterrey (<i>Opisthonema libertate</i>)	9	91	3	5.1	1.4	(García-Sifuentes <i>et al.</i> , 2009 b)
AC de la sardina crinuda (<i>Sardinops sagax</i>)	11.2	88.8	5.2	2.2	2	(Valdez-Hurtado <i>et al.</i> , 2018)
Base seca						
<i>Sardinops sagax caerulea</i> , <i>Engraulis mordax</i> , <i>Cetengraulis mysticetus</i> y <i>Scomber japonicus</i> precipitados con HCl	-	-	69.7	13.9	8.2	(García-Sifuentes <i>et al.</i> , 2009b)
<i>Sardinops sagax caerulea</i> , <i>Engraulis mordax</i> , <i>Cetengraulis mysticetus</i> y <i>Scomber japonicus</i> precipitados con TCA	-	-	76.7	12.1	8.2	(García-Sifuentes <i>et al.</i> , 2009b)
Bacalao y abadejo de Alaska	-	3.41	86.16	2.59	13.92	(Bechtel, 2005)
Salmón	-	5.82	82.07	1.80	10.61	(Bechtel, 2005)
Anchoveta (<i>Engraulis mordax</i> y <i>Cetengraulis mysticetus</i>)	9.0	53.8	54.8	0.8	7.2	(Cadena-Cadena <i>et al.</i> , 2022)

respectivamente (Bechtel, 2005). Estos resultados son más altos que los reportados para las aguas de cocción del camarón (53%) (Pérez-Santín, Calvo, López-Caballero, Montero & Gómez-Guillén, 2013), para los del AC del atún, la anchoveta y el pescado silvestre (65%) (Cadena-Cadena *et al.*, 2022; Wu *et al.*, 2018) y que para los del AC de la sardina y el jugo de cocción del atún (56%) (Martínez-Montaño *et al.*, 2021), así como para los de *Kilka chupeonella* (70%). Esta variación puede ser atribuida a diversos factores como la formación de los complejos de proteína-quitina, proteína-lípidos o proteína-pigmentos, a la especie de pescado, a la época de captura, a las condiciones fisiológicas del organismo (el estado sexual de la población), a las condiciones de almacenamiento y de operación durante la elaboración del producto final, lo que resulta en un incremento de la concentración proteica (Bechtel, 2005; Mahdabi & Hosseini Shekarabi, 2018; Martínez-Montaño *et al.*, 2021).

RECUPERACIÓN DE LAS PROTEÍNAS EN AGUAS RESIDUALES DEL PROCESAMIENTO DE PESCADO

La industria de los alimentos es una de las principales consumidoras de agua debido a que se utiliza como un ingrediente principal, hasta en los procesos de limpieza. La importancia de la huella hídrica dio lugar a que en el año 2013 se consumiera el 12% del agua que emplea la industria en el continente europeo con una tendencia al aumento en los años 2020 al 2022 debido a los efectos del COVID-19 (Lucas & García, 2018; Elmaslar-Özbas, Akin, Güneysu, Özcan, & Öngen, 2022). Se estima que en algunas industrias pesqueras el 60% del volumen del efluente corresponde al agua de lavado, que contiene más del 70% de las proteínas (6 g/L) del pescado (Bourseau, Massé, Cros, Vandanjon & Jaouen, 2014; Jaouen & Quéméneur, 1992). Estos efluentes pueden ser concentrados para obtener biomoléculas de interés presentes en ellos (García-Sifuentes *et al.*, 2009a). Existen diversos métodos para concentrar las proteínas y su utilización, sin embargo, una de las mejores técnicas para recuperarlas es la ultrafiltración con membranas (UF). Esta metodología ha demostrado ser útil en su recuperación de aguas residuales de la producción de surimi (Tacharatanamane, Cherdrungsi & Youravong, 2004). Además, se ha demostrado que estas proteínas obtenidas por lavado del surimi, con membranas, presentan propiedades funcionales similares a las recuperadas de la pasta del surimi (Lin, Park & Morrisey, 1995; Mameri *et al.*, 1996). En otro estudio, se utilizó la técnica de nanofiltración y se pudo recuperar entre un 19 y un 70% de las proteínas del proceso de lavado de sardina con soluciones salinas, estas proteínas podrían ser reincorporadas en la producción de alimentos para aumentar el rendimiento (Dumay, Radier, Barnathan, Bergé & Jaouen, 2008; Yeong, Mohammad, Anuar & Rahman, 2002).

Algunos de los aspectos más importantes que deben de ser tomados en cuenta una vez que se decide trabajar con membranas de filtración, es el corte del peso molecular y el material con el que ha sido fabricada la membrana. En un estudio llevado

a cabo en el Fishery Industry Technology Center en Kodiak, Alaska, lograron recuperar aproximadamente el 80% de las proteínas de las aguas residuales de la producción de surimi empleando membranas de cerámica y poliméricas de la serie PAN M (nitrilo poliacrílico) con corte de peso molecular de 50 kDa y diferentes contenidos de humedad (Stine, Pedersen, Smiley & Bechtel, 2012).

APLICACIÓN DE LOS EFLUENTES PESQUEROS EN LA AGRICULTURA Y LA ACUICULTURA

A los subproductos que forman el sedimento después del tratamiento de las aguas residuales de la industria pesquera se les denomina lodos. En el caso de los alimentos cuando el tratamiento es mayor, el lodo resultante es más complejo. La producción de lodos es el resultado de la influencia de los microorganismos, de la acumulación de la materia en suspensión y de la acumulación de la materia orgánica no biodegradable (Liu, 2008; Pedreño, Herrero, Lucas & Beneyto, 1995). La cantidad de lodo acumulada alcanza la cifra de 4,000 toneladas anuales que van a parar al relleno sanitario o a la laguna de contención. Sin embargo, ya no es suficiente el retenerlos de esta manera por eso se han buscado alternativas para su utilización, el uso de este subproducto como fertilizante es una buena opción por ser un sedimento rico en minerales como N y P en mayor proporción y Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn y Mo, en cantidades menores, lo que indica una acertada opción como fertilizante (Ahuja, Dauksas, Remme, Richardsen & Loes, 2020; Pedreño *et al.*, 1995). En el cultivo de tomate con la adición de 0.5 Kg/m² se tuvo un efecto benéfico tanto en la producción como en la recuperación del suelo. La adición del 20% del lodo a los suelos produjo un efecto de estimulación en el crecimiento y la producción de la biomasa independiente de la fecha de aplicación (Liu, 2008). En otro estudio se encontró un aumento del 50 al 80% en la absorción de nitrógeno en la cebada en comparación con los fertilizantes minerales y el estiércol de lechería (Brod, Oppen, Kristoffersen, Haraldsen & Krogstad, 2017).

Entre las cualidades de los lodos que destacan al utilizarlos como sedimentos están la disminución de la densidad aparente, un incremento de la retención del agua, las propiedades químicas por el aporte de materia orgánica y nutrientes que mejoran la productividad del terreno con un incremento de los productos agrícolas y la reducción de sus costos por la disminución del consumo de fertilizantes químicos (Radziemska, Vaverková, Adamcová, Brtnický & Mazur, 2019). Sin embargo, todavía existe incertidumbre sobre las consecuencias de utilizar las aguas residuales como fertilizantes en los cultivos, principalmente por la presencia de metales pesados como el mercurio o el plomo. No obstante, parece que la cantidad de metales pesados provenientes de las aguas residuales de la industria alimentaria es reducido, lo que las hace ideales para este fin (Lucas & García, 2018) y aunque son una muy buena alternativa para ser reusados en el sector agrícola como fertilizante orgánico, estos varían

dependiendo de varios factores como son el tipo de procesos que se realizan en las plantas de alimentos, en los tratamientos de aguas residuales y en la temporada de captura. Del mismo modo, existe una variación en los valores equivalentes de P y N en los fertilizantes, ya que no se conocen para todos los productos y tampoco se incluyen en las tasas de aplicación. Esto significa que las necesidades agronómicas y ecológicas no se optimizan a escala agrícola (Shi *et al.*, 2021). Por otro lado, algunos autores mencionan que el uso de los lodos como fertilizante está condicionado, a un análisis periódico de metales

pesados, esto debido a las secuelas que afectarían a la cadena alimenticia con su adición (Shoushtarian & Negahban-Azar, 2020; Sharma, Sarkar, Singh & Singh, 2017).

En otras industrias, como en la de la acuicultura, se puede utilizar el AC como alimento de engorda, incluso hasta sustituir totalmente la dieta de los organismos acuáticos. La fracción soluble de las proteínas de origen marino tiene un papel importante en el rendimiento de los peces, especialmente en aquellos a los que se les suministran dietas con bajo contenido

Tabla IV. Estudios de suplementación del agua de cola en la dieta de los organismos en cultivo

Organismos	Tratamientos	Resultados	Referencias
Salmón del Atlántico (<i>Salmo salar</i>)	Adición al agua de cola de los subproductos de abadejo de Alaska, bacalao y salmón.	Altos niveles de glicina, prolina e hidroxiprolina de 17.7 g, 8.4 g, y 4.6 g de aminoácido por 100 g del total de los aminoácidos en la dieta para peces	(Bechtel, 2005)
Salmón del Atlántico (<i>Salmo salar</i>)	Adición del 5% de agua de cola en la dieta de los peces	Aumento del contenido de la proteína cruda en la dieta Mejoró el contenido de arginina e isoleucina en la dieta	(Espe, Lemme, Petri & El-Mowafi, 2006)
Salmón del Atlántico (<i>Salmo Salar</i>)	Inclusión de diferentes niveles de agua de cola concentrada en la dieta	Los peces aceptaron la dieta con alto contenido de agua de cola Aumento en el contenido de hidroxiprolina, lisina libre, ácido glutámico, prolina y leucina en la dieta Aumento significativo en la tasa de crecimiento de los peces Mejoró el perfil de los aminoácidos hidroxiprolina, glicina, ácido glutámico, alanina y valina en filetes de salmón	(Kousoulaki <i>et al.</i> , 2009)
Pez cabeza de serpiente rayada, <i>Channa striata</i> (Bloch)	Inclusión de diferentes niveles de condensado de agua de cola en la dieta	Peces alimentados con dieta en la que se incluyó 500 g/ kg ⁻¹ de agua de cola condensada mostraron un crecimiento superior con una mejor asimilación del alimento	(Wattanakul, Wattanakul, Thongprajukaew & Muenpo, 2017)
Bagre amarillo (<i>Pelteobagrus fulvidraco</i>).	Incorporación para dieta de los hidrolizados de agua de cola evaporada que provienen de los subproductos del atún, la anchoveta y las especies silvestres de pescado del este de China	Las dietas con incorporación de hidrolizados fueron aceptadas por los peces Hidrolizados de agua de cola en proporciones del 25% al 30% en su formulación que pueden reemplazar el contenido de la harina de pescado como fuente de proteína en la dieta para peces Incorporación de los hidrolizados de agua de cola efectiva en la ganancia de peso y asimilación del alimento por los peces	(Wu, Duangmanee, Zhao, Juntawong & Ma, 2016)
Tilapia del Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Reemplazado de harina de pescado por diferentes niveles de agua de cola condensada en la dieta para peces	Basado en la supervivencia, crecimiento o utilización del alimento, el agua de cola podría reemplazar a la harina de pescado en dietas con valores máximos de un 50% El tratamiento con un 50% de lipasa tuvo mayor actividad en los peces	(Wattanakul, Wattanakul & Thongprajukaew, 2019)
Anguila de campo de arroz (<i>Monopterus albus</i>)	Incorporación de los hidrolizados comerciales de agua de cola en la dieta para anguila	La sustitución parcial de la harina de pescado por agua de cola en la dieta, mejoró significativamente el rendimiento del crecimiento de los peces y en un 10% con los hidrolizados de la misma, fue efectiva en la salud intestinal y la función inmune de los peces	(Shi <i>et al.</i> , 2019)

de harina de pescado y altas cantidades de proteínas de origen vegetal (Aksnes, Hope, Jönsson, Björnsson & Albrektsen, 2006). En la Tabla IV se mencionan algunos de los estudios efectuados en la implementación del AC para reemplazar parcial o totalmente la harina de pescado en la dieta de los organismos acuáticos. Esto, porque se ha documentado que la presencia de biomoléculas como los aminoácidos en el AC favorecen el desarrollo de los peces de cultivo (Kousoulaki *et al.*, 2009). El uso del AC para la elaboración de ingredientes proteínicos hace más atractivo el alimento al mejorar su palatabilidad, por lo que es muy recomendable en la acuicultura (Sathivel & Bechtel, 2006). Algunos estudios demuestran que la incorporación de los preparados del AC en la dieta para animales de engorda influye de manera significativa en la ganancia de peso. De esta manera se pone en evidencia una solución al recuperar y encontrarles una aplicación a las proteínas de un efluente altamente perjudicial para el medio ambiente (Hulan, Proudfoot & Zarkadas, 1987).

SOLUBLES DE PESCADO

El AC puede ser tratada y evaporada para elaborar solubles de pescado (SP) y reincorporarlos en la harina para incrementar el contenido de proteína y producir lo que se conoce como harina de pescado entera, que actualmente contienen entre un 8 a un 15% de SP (Jones, 2017) y alrededor del 30% son derivados del AC (Kousoulaki *et al.*, 2009). Además, los SP pueden ser utilizados como ingredientes para mejorar las características sensoriales de la dieta en los peces (Hertrampf & Piedad-Pascual, 2000).

Con respecto al uso del AC en el suplemento para una dieta con fines acuícolas, se ha sugerido que, si una porción o todo el contenido de la harina puede ser reemplazado con otra fuente de proteína de alta calidad, contribuirá en gran medida a minimizar el impacto ambiental al mismo tiempo que se promueve el desarrollo de la industria acuícola de manera sostenible (Miles & Chapman, 2006). En este sentido, se comprobó que el AC de los subproductos de (cabezas y vísceras) de pescado de salmón rojo (*Oncorhynchus nerka*) puede ser una opción viable para la elaboración de SP, siempre y cuando se tomen en cuenta las elevadas concentraciones de aminos biogénicos presentes en las mismas (Wu, Nigg, Stine & Bechtel, 2011). Por otra parte, y con la finalidad de expandir el mercado al aumentar el valor agregado de este subproducto, se han propuesto a los SP como fuente proteica para la producción de hidrolizados de pescado (Nilsang, Lertsiri, Suphantharika & Assavanig, 2005). En las últimas décadas se ha estudiado la capacidad que tienen estos hidrolizados para mejorar las propiedades funcionales de los alimentos, así como de los diversos subproductos pesqueros que pueden ser utilizados como fuente para la obtención y recuperación de los compuestos bioactivos.

Hidrolizados bioactivos

Ante la constante explotación de los recursos acuícolas, crecimiento demográfico, y problemas ambientales, surge la

necesidad de maximizar el aprovechamiento de los recursos naturales mediante el diseño y optimización de procesos que permitan la utilización de fuentes alternas de proteínas de calidad y el reciclaje del agua como por ejemplo la reutilización de aguas de salmuera que aumentan la calidad y la producción de los compuestos bioactivos (Szymczak, Felisiak & Szymczak, 2018). Sin embargo, el creciente aumento en la generación de desechos pesqueros, también ha planteado nuevos retos en la reducción del impacto ambiental y seguridad alimentaria tanto en la comunidad científica, como en las industrias alimentaria y la farmacéutica; las cuales, en las últimas décadas han centrado el desarrollo científico y tecnológico en la obtención de hidrolizados proteicos de pescado con propiedades funcionales y bioactivas (Chalamaiah, Hemalatha & Jyothirmayi, 2012; Wu *et al.*, 2018).

Los residuos con gran potencial de aprovechamiento son los efluentes generados durante el procesamiento de los organismos acuáticos. En ellos se encuentran desde vitaminas y péptidos hasta aminoácidos con actividad biológica de interés comercial (García-Sifuentes *et al.*, 2009a). En algunos casos, tanto el volumen como la concentración de estas biomoléculas en los efluentes, van a depender de factores como la composición del organismo, los aditivos añadidos, la calidad del agua del proceso y las condiciones del mismo (Gringer, Osman, Nielsen, Undeland & Baron, 2014).

Actividad antioxidante y antihipertensiva

En los últimos años se ha visto un creciente interés en la identificación de nuevas fuentes alternativas de origen natural, para la obtención de biomoléculas antioxidantes y antihipertensivas con el fin de emplearlas contra la hipertensión que es el principal factor de riesgo de una enfermedad cardiovascular y prevenir la presión arterial alta a través de la dieta (Lira, 2015). Es por esto que, se han llevado a cabo diversos estudios para determinar las propiedades bioactivas de los compuestos recuperados mediante UF de aguas residuales, generadas durante el procesamiento de algunas especies pesqueras como: los cefalópodos, los crustáceos, y las variedades de pescado (Vildmyren *et al.*, 2018; Wu *et al.*, 2018). El uso de las membranas de filtración enriquece la concentración de las proteínas con una mayor cantidad de péptidos, con actividad antioxidante e inhibe a la enzima convertidora de angiotensina (ECA) (Amado *et al.*, 2013). Otros estudios en los que se encontraron componentes antioxidantes y antihipertensivos con potencial de aplicación en la formulación y desarrollo de alimentos funcionales, se encuentran citados en la Tabla V.

Es importante enfatizar, que la diversidad de los compuestos encontrados en estos efluentes, no solo dependen del tipo de organismo sino del procesamiento que recibe para la obtención del producto final. Por tanto, es posible extraer proteínas y péptidos de bajo peso molecular, derivadas de la degradación de

Tabla V. Actividad antioxidante y antihipertensiva de los hidrolizados proteicos de los efluentes residuales del procesado de las especies pesqueras

Estudios	Sistemas	Resultados	Referencias
Jugo de la cocción del atún (<i>Thunnus tonggol</i>)	Hidrólisis enzimática con Orientasa de (<i>Bacillus subtilis</i>)	Los péptidos retardan la peroxidación lipídica de los ácidos grasos La eliminación del 80% de los radicales DPPH	(Hsu, Lu & Jao, 2009)
Efluentes del descongelado, ablandamiento, hervido y gelación de sepia (<i>Illex argentinus</i>)	UF-Hidrólisis enzimática	Péptidos con actividad blanqueadora del β-caroteno Inhibición de los radicales DPPH Inhibición de la (ECA)	(Amado <i>et al.</i> , 2013)
Agua de la cocción del camarón (<i>Penaeus</i> spp.)	Centrifugación	Péptidos con actividad quelante del hierro Fe ⁺² Reductora del hierro FRAP Fe ⁺³ Fe ⁺² Secuestradora de los radicales ABTS ⁺	(Pérez-Santín <i>et al.</i> , 2013)
Salmueras del marinado del arenque (<i>Clupea harengus</i>)	Ajuste del pH-UF	Capacidad espumante Capacidad emulsificante Las fracciones de 50–10 kDa poseen la capacidad de inhibir los radicales Poder reductor del hierro FRAP Fe ⁺³ Fe ⁺² .	(Taheri <i>et al.</i> , 2014)
Salmueras del marinado del arenque (<i>Clupea harengus</i>)	-	Péptidos con actividad quelante del hierro Fe ⁺² Secuestradora de los radicales ABTS ⁺	(Gringer <i>et al.</i> , 2016)
Agua de la cocción del camarón (<i>Penaeus vannamei</i>)	UF-Hidrólisis enzimática	Péptidos con la actividad blanqueadora del β-caroteno Inhibición de los radicales DPPH Inhibición de la (ECA) Fuente de la astaxantina	(Amado <i>et al.</i> , 2016)
Salmueras del marinado del arenque (<i>Clupea harengus</i>)	-	Quelante del hierro Fe ⁺² Actividad reductora del hierro FRAP Fe ⁺³ Fe ⁺² Secuestradora de los radicales ABTS ⁺	(Gringer <i>et al.</i> , 2016)
Agua de cola de la industria de la harina de pescado	Hidrólisis enzimática con alcalasa y novozymes	Hidrolizados con más del 85% de solubilidad Capacidad de secuestro de los radicales DPPH EC50 de (1.31 mg/mL) Capacidad de inhibición del radical ABTS de EC50 de of (1.5 mg/mL)	(Mahdabi, Hosseini & Shekarabi, 2018)
AC de la industria harinera de la anchoveta (<i>Engraulis mordax</i> y <i>Cetengraulis mysticetus</i>)	Auto-hidrólisis y pulsos ultrasónicos	Aumento de la capacidad emulsificante, espumante, y actividad del DPPH y FRAP	(Cadena-Cadena <i>et al.</i> , 2022)

las proteínas de mayor tamaño y relacionadas con el proceso de producción aplicado y a la actividad proteolítica de las enzimas, que se puede ver incrementada por la presencia de los aditivos añadidos (Gringer *et al.*, 2016).

Por consiguiente, el uso de membranas de UF en los efluentes para obtener productos escandinavos a partir del arenque marinado del que provienen las salmueras en el periodo final de su maduración da como resultado una intensa actividad antioxidante (Tabla V), atribuyendo la propiedad a su alto contenido de aminoácidos, péptidos, proteínas y compuestos fenólicos (Gringer *et al.*, 2014, 2016; Taheri, Farvin, Jacobsen & Baron, 2014). La actividad

antioxidante puede variar considerablemente, sin embargo, en la obtención de los péptidos de los calamares mediante la hidrólisis con tripsina se generó una mayor actividad antioxidante que con la hidrólisis de pepsina aumentada tras la incubación con las proteasas (Shavandi *et al.*, 2017). Por otro lado, se sabe que las fracciones de los compuestos de bajo peso molecular y el contenido de los aminoácidos tienen un papel crucial en la potenciación de la actividad antioxidante (Gringer *et al.*, 2014). En varios estudios se ha atribuido la actividad antioxidante al contenido de los aminoácidos libres como: Leu 6.9-11.6%, Isoleucina 2.7-4%, Lisina 7.4-11.4 % y Valina 2.9-6.3%. Así como una considerable cantidad de aminoácidos no esenciales

como: la Alanina 2.9-12.1%, la Glicina 2.9- 10.3%, la Prolina 1.3-1.9% y el Ácido glutámico 5.6-12.7 %; con capacidad antioxidante en hidrolizados de arenque (Sathivel & Bechtel, 2006). Por lo que se concluyó que las salmueras producto del arenque marinado tienen un gran potencial para ser utilizados como de valor agregado en los suplementos dietarios, y como aditivos para prevenir la oxidación de los lípidos en los alimentos.

Otras aplicaciones

En años recientes se ha observado una prevalencia en el surgimiento de microorganismos altamente resistentes a los medicamentos, así como una creciente preocupación en el uso de preservativos alimentarios de origen sintético por sus posibles efectos adversos a la salud. Esto ha conducido a la búsqueda de nuevas fuentes y compuestos naturales con propiedades antimicrobianas capaces de ser implementadas en el control y eliminación de las bacterias patógenas y causantes del deterioro de los alimentos, que se traduce en pérdidas económicas y nuevos retos en materia de seguridad alimentaria. En este sentido, se ha propuesto aprovechar los subproductos pesqueros ricos en proteína para la obtención de los hidrolizados y las fracciones peptídicas que puedan ser útiles en el desarrollo de nuevos fármacos y aditivos alimentarios para el control de una gran variedad de microorganismos (Zamora-Sillero, Gharsallaoui & Prentice, 2018; Zhang *et al.*, 2022).

Los desechos del pescado pueden ser utilizados para producir una gran variedad de productos de valor agregado, por ejemplo: pigmentos naturales, cosméticos e inclusive biodiésel, entre otros (Rahman, Islam, Hassan, Kim & Ahmad, 2019). Se ha demostrado que es posible obtener xantinas (pigmentos rosa-rojo) de efluentes de la industria pesquera mediante su adsorción de las escamas del pescado (Stepnowski, Olafsson, Helgason & Jastorff, 2004; Zhang *et al.*, 2022). Por otro lado, ya se ha sugerido el uso de efluentes de las granjas de pescado para la producción del biogás (Lanari & Franci, 1998). Al mismo tiempo se ha estudiado el efecto de la combinación de las tecnologías de electrofloculación (EF), pulsos ultrasónicos y UF con una recuperación de más del 90% (Gringer *et al.*, 2014; Zhang *et al.*, 2022) de moléculas de interés comercial como: Zn, Fe, Mg, Ca, P y N, ácidos grasos esenciales O-3 y compuestos fenólicos.

En líneas anteriores se mencionó que el AC, entre otros efluentes de la industria procesadora de productos pesqueros contiene una gran cantidad de moléculas solubles y de tejido conectivo (Bechtel, 2005; García-Sifuentes *et al.*, 2009; Wu & Bechtel, 2012), que pueden ser útiles para el diseño de nuevos materiales poliméricos. Actualmente existen una gran cantidad de efluentes de la industria pesquera que no han sido estudiados y pueden tener un gran potencial para la extracción de compuestos bioactivos y de interés comercial; así como para evaluar la actividad biológica de los compuestos derivados de estos fluidos con fines terapéuticos, desarrollo de fármacos, aplicaciones tecnológicas o aditivos naturales para los alimentos.

CONCLUSIONES

Los efluentes de la industria procesadora de productos de la pesca especialmente la reductora, son las principales causas del deterioro ambiental en los cuerpos de agua y ecosistemas cercanos a las zonas de descarga. La tecnología de membranas de UF parece ser una opción viable en el tratamiento y concentración de los compuestos funcionales y bioactivos de los efluentes de la industria pesquera, ya que estas presentan una elevada tasa de recuperación de las proteínas, los aceites y los minerales de alto valor comercial y nutricional. Sin embargo, aún se necesitan estudios que investiguen la aplicación tecnológica o funcional de estos compuestos; así como evaluar su toxicidad para ser considerados como sustancias inocuas en la elaboración de fármacos, de cosméticos y de aditivos alimentarios, entre otros. Utilizar los efluentes de desecho de la industria pesquera como fuente de compuestos bioactivos puede ayudar a la preservación de otras especies o fuentes convencionales y con ello contribuir a la seguridad alimentaria. Además, es necesario hacer énfasis en el desarrollo de los procesos y las tecnologías que permitan un mejor aprovechamiento de los recursos de la pesca de una manera más responsable; así como aumentar el valor agregado de los desechos y minimizar el impacto ambiental que estos tienen, fomentar con ello una cultura de desarrollo sustentable que al mismo tiempo permitirá contribuir al tratamiento de las aguas de desecho industrial y reducir los costos que esto conlleva.

DECLARACIÓN DE CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo académico al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Tecnológico Nacional de México Campus Valle del Yaqui, ya que sin su apoyo no hubiera sido posible la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

- Achour, M., Khelifi, O., Bouazizi, I. & Hamdi, M. (2000). Design of an integrated bioprocess for the treatment of tuna processing liquid effluents. *Process Biochemistry*, **35**(9), 1013–1017. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(00\)00133-3](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(00)00133-3)
- Afonso, M. D. & Bórquez, R. (2003). Nanofiltration of wastewaters from the fish meal industry. *Desalination*, **151**(2), 131–138. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(02\)00991-8](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(02)00991-8)
- Afonso, M. D., Ferrer, J. & Bórquez, R. (2004). An economic assessment of proteins recovery from fish meal effluents by ultrafiltration. *Trends in Food Science & Technology*, **15**(10), 506–512. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.02.008>
- Ahuja, I., Dauksas, E., Remme, J. F., Richardsen, R. & Løes, A.-K. (2020). Fish and fish waste-based fertilizers in organic farming – With status in Norway: A review. *Waste Management*, **115**, 95–112. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X20303913>

- Aksnes, A., Hope, B., Jönsson, E., Björnsson, B. T. & Albrektsen, S. (2006). Size-fractionated fish hydrolysate as feed ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed high plant protein diets. I: Growth, growth regulation and feed utilization. *Aquaculture*, **261**(1), 305–317. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.07.025>
- 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. <https://doi.org/10.1002/jctb.4647>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2013.04.009>
- Arias-Lizárraga, D. M. & Méndez-Gómez, E. (2014). Remoción de sólidos en aguas residuales de la industria harinera de pescado empleando biopolímeros. *Tecnología y Ciencias del Agua*, **5**(3), 115–123.
- Bechtel, P. J. (2005). Properties of stickwater from fish processing byproducts. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, **14**(2), 25–38. https://doi.org/10.1300/J030v14n02_03
- Bourseau, P., Massé, A., Cros, S., Vandanjon, L. & Jaouen, P. (2014). Recovery of aroma compounds from seafood cooking juices by membrane processes. *Journal of Food Engineering*, **128**, 157–166. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.12.014>
- Brod, E., Oppen, J., Kristoffersen, A. Ø., Haraldsen, T. K. & Krogstad, T. (2017). Drying or anaerobic digestion of fish sludge: Nitrogen fertilisation effects and logistics. *Ambio*, **46**(8), 852–864. <https://doi.org/10.1007/s13280-017-0927-5>
- Cadena-Cadena, F., Cuevas-Acuña, D. A., Reynaga-Franco, F. de J., Rodríguez-Felix, G., Núñez-Ruiz, M. del S., Higuera-Barraza, O. A. & Arias-Moscote, J. L. (2022). Effect of Ultrasonic Pulses on the Functional Properties of Stickwater. *Applied Sciences*, **12**(3), 1351. <https://doi.org/10.3390/app12031351>
- Cáceres, M. D. J. G. (2012). Aspectos medioambientales asociados a los procesos de la industria láctea. *Mundo pecuario*, **8**(1), 16–32.
- Castillo, P. F., Rao, R. M. & Liuzzo, J. A. (1987). Potential of acid activated clays in the clarification of menhaden stickwater. *Journal of Environmental Science & Health Part B*, **22**(4), 471–489.
- Castro, O. N., Álvarez, J., Gómez, O. T. & López, J. L. (2020). Recuperación de proteínas del efluente “agua de cola” de la industria de harina de pescado con quitosano calcáreo. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, **21**(2), 41–50.
- Chalamaiah, M., Hemalatha, R. & Jyothirmayi, T. (2012). Fish protein hydrolysates: proximate composition, amino acid composition, antioxidant activities and applications: a review. *Food Chemistry*, **135**(4), 3020–3038. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.06.100>
- Chowdhury, P., Viraraghavan, T. & Srinivasan, A. (2010). Biological treatment processes for fish processing wastewater—A review. *Bioresource Technology*, **101**(2), 439–449. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.08.065>
- Cristóvão, R. O., Botelho, C. M., Martins, R. J. E., Loureiro, J. M. & Boaventura, R. A. R. (2015a). Fish canning industry wastewater treatment for water reuse—a case study. *Journal of Cleaner Production*, **87**, 603–612. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.076>
- Cristóvão, R. O., Gonçalves, C., Botelho, C. M., Martins, R. J. E., Loureiro, J. M. & Boaventura, R. A. R. (2015b). Fish canning wastewater treatment by activated sludge: application of factorial design optimization: Biological treatment by activated sludge of fish canning wastewater. *Water Resources and Industry*, **10**, 29–38. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2015.03.001>
- Del Valle, J. M. & Aguilera, J. M. (1991). Physicochemical characterisation of raw fish and stickwater from fish meal production. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **54**(3), 429–441. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740540314>
- Dumay, J., Radier, S., Barnathan, G., Bergé, J.-P. & Jaouen, P. (2008). Recovery of valuable soluble compounds from washing waters generated during small fatty pelagic surimi processing by membrane processes. *Environmental Technology*, **29**(4), 451–461. <https://doi.org/10.1080/09593330801983912>
- Elmaslar Özbaş, E., Akın, Ö., Güneysu, S., Özcan, H. K. & Öngen, A. (2022). Changes occurring in consumption habits of people during COVID-19 pandemic and the water footprint. *Environment, Development and Sustainability*, **24**(6), 8504–8520. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01797-z>
- Espe, M., Lemme, A., Petri, A. & El-Mowafi, A. (2006). Can Atlantic salmon (*Salmo salar*) grow on diets devoid of fish meal? *Aquaculture*, **255**(1–4), 255–262. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.12.030>
- FAO. (2018). El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible. Roma. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- García-Sandá, E., Prieto, F. O. & Lema, J. M. (2004). Desarrollo de tecnologías limpias en la industria conservera de productos marinos. *Alimentación, Equipos y Tecnología*, **23**(191), 60–65.
- García-Sifuentes, C. O., Aguilar, R. P. & Carvallo-Ruiz G. (2011). Stickwater multi-step treatment: effect on organic material removal. *Revista de Ciencias Biológicas y de La Salud*, **XIII**, 10–16.
- García-Sifuentes, C. O., Pacheco-Aguilar, R., Carvallo-Ruiz, G., Lugo-Sánchez, M. E. & García-Sánchez, G. (2014). Aproximación experimental al tratamiento de agua de cola.

- Revista de Ciencias Biológicas y de La Salud*, **16(1)**, 26–31.
- García-Sifuentes, C., Pacheco-Aguilar, R., Lugo-Sánchez, M., García-Sánchez, G., Ramírez-Suarez, J. C. & García-Carreno, F. (2009a). Properties of recovered solids from stick-water treated by centrifugation and pH shift. *Food Chemistry*, **114(1)**, 197–203. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.064>
- García-Sifuentes, C. O., Pacheco-Aguilar, R., Valdez-Hurtado, S., Márquez-Rios, E., Lugo-Sánchez, M. E. & Ezquerro-Brauer, J. M. (2009b). Impacto del agua de cola de la industria pesquera: tratamientos y usos Impact of stickwater produced by the fishery industry: treatment and uses. *CyTA—Journal of Food*, **7(1)**, 67–77. <https://doi.org/10.1080/11358120902850412>
- Genovese, C. V. & González, J. F. (1998). Solids removal by coagulation from fisheries waste waters. *Water Sa-Pretoria*, **24**, 371–372.
- Gildberg, A. (2004). Digestive enzyme activities in starved pre-slaughter farmed and wild-captured, Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Aquaculture*, **238(1)**, 343–353.
- Gómez, G. del C. J., Lara, L. M. & Valenzuela, M. M. (2022). Categorización de residuos de pescado para la elaboración de subproductos de valor agregado. *Revista Ingeniantes*, **9(1)**, 1.
- Goycoolea, F. M., Nieblas, J. M., Noriega, L. O. & Higuera-Ciapara, I. (1997). Temperature and concentration effects on the flow behaviour of stickwater. *Bioresource Technology*, **59(2–3)**, 217–225. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(96\)00145-9](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(96)00145-9)
- Graciano-Verdugo, A., Maldonado Arce, A., Villalba Villalba, A., Burgos Hernández, A., Otero León, C., Canzales Rodríguez, D., Cuevas Acuña, D. & Ezquerro Brauer, J. (2014). *Química, bioquímica y estructura de los subproductos de la pesca*. Hermosillo, Mexico: Universidad de Sonora
- Gringer, N., Osman, A., Nielsen, H. H., Undeland, I. & Baron, C. P. (2014). Chemical characterization, antioxidant and enzymatic activity of brines from Scandinavian marinated herring products. *Journal of Food Processing & Technology*, **5(346)**, 1000346. DOI:10.4172/2157-7110.1000346
- Gringer, N., Safar, H., Du Mesnildot, A., Nielsen, H. H., Rogowska-Wrzesinska, A., Undeland, I. & Baron, C. P. (2016). Antioxidative low molecular weight compounds in marinated herring (*Clupea harengus*) salt brine. *Food Chemistry*, **194**, 1164–1171. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.121>
- Guerrero, L., Omil, F., Mendez, R. & Lema, J. M. (1998). Protein recovery during the overall treatment of wastewaters from fish-meal factories. *Bioresource Technology*, **63(3)**, 221–229. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(97\)00140-5](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(97)00140-5)
- Hadzadeh, Z., Mehrgan, M. S. & Shekarabi, S. P. H. (2020). The potential use of stickwater from a kilka fishmeal plant in *Dunaliella salina* cultivation. *Environmental Science and Pollution Research*, **27(2)**, 2144–2154. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06926-w>
- Hertrampf, J. W. & Piedad-Pascual, F. (2000). Fish solubles (de-hydrated). In Handbook on ingredients for aquaculture feeds. *Springer*, **8**, 211–216. https://doi.org/10.1007/978-94-011-4018-8_21
- Hsu, K.-C., Lu, G.-H. & Jao, C.-L. (2009). Antioxidative properties of peptides prepared from tuna cooking juice hydrolysates with orientase (*Bacillus subtilis*). *Food Research International*, **42(5–6)**, 647–652. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.02.014>
- Hulan, H. W., Proudfoot, F. G. & Zarkadas, C. G. (1987). The effect of adding white fish meal containing enzyme digested or untreated stickwater solids to diets for broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*, **16(4)**, 253–259. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(87\)90014-9](https://doi.org/10.1016/0377-8401(87)90014-9)
- 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. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1756464614002746>
- Jacobsen, F. (1985). Effect of enzymatic treatment of stickwater on evaporator capacity and fouling. *Process Biochemistry*, **20(4)**, 103–108.
- Jaouen, P. & Quéméneur, F. (1992). Membrane filtration for waste-water protein recovery. London: *Fish Processing Technology*, **1(1)**, 213–245.
- Jones, A. M. (2017). Evaluating the effects of specialty protein sources on nursery pig performance. *Kansas State University* **1-24**
- 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(1–2)**, 74–83. [10.1016/j.aquaculture.2008.12.034](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.12.034)
- Lanari, D. & Franci, C. (1998). Biogas production from solid wastes removed from fish farm effluents. *Aquatic Living Resources*, **11(4)**, 289–295. [https://doi.org/10.1016/S0990-7440\(98\)80014-4](https://doi.org/10.1016/S0990-7440(98)80014-4)
- Leal, J. C. M., Panta, C. A. C., Ferrín, A. I. V., Cabo, P. A. G. & Rodríguez, L. M. Z. (2015). Tratamiento de aguas residuales de una industria procesadora de pescado en reactores anaeróbicos discontinuos. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, **25(1)**, 27–42.
- Lin, T. M., Park, J. W. & Morrissey, M. T. (1995). Recovered protein and reconditioned water from surimi processing waste. *Journal of Food Science*, **60(1)**, 4–9. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1995.tb05594.x>
- Lira, M.T. (2015). Impacto de la hipertensión arterial como factor de riesgo cardiovascular. *Revista Médica Clínica Los Condes*, **26(2)**, 156–163. <https://doi.org/10.1016/j>

- rmclc.2015.04.004
- Liu, S. X. (2008). Food and agricultural wastewater utilization and treatment. *John Wiley & Sons.*, 51-110
- Lomas, P. L., Martín, B., Louit, C., Montoya, D., Montes, C. & Álvarez, S. (2005). Guía práctica para la valoración económica de los bienes y servicios ambientales de los ecosistemas. Fundación Interuniversitaria Fernanda González Bernaldez. España. 13-31
- Lucas, S. M. & García, R. S. (2018). El agua en la industria alimentaria. *Boletín de La Sociedad Española de Hidrología Médica*, **33(2)**, 157–171. DOI: 10.23853/bsehm.2018.0571
- 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. <https://doi.org/10.1080/10498850.2018.1500503>
- Mameri, N., Abdessemed, D., Belhocine, D., Lounici, H., Gavach, C., Sandeaux, J. & Sandeaux, R. (1996). Treatment of fishery washing water by ultrafiltration. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental AND Clean Technology*, **67(2)**, 169–175. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4660\(199610\)67:2<169::AID-JCTB537>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4660(199610)67:2<169::AID-JCTB537>3.0.CO;2-1)
- Martínez-Montaño, E., Osuna-Ruiz, I., Benítez-García, I., Osuna, C. O., Pacheco-Aguilar, R., Navarro-Peraza, R. S. & Salazar-Leyva, J. A. (2021). 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. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01147-6>
- Massé, A., Vandanjon, L., Jaouen, P., Dumay, E., Kechaou, E. & Bourseau, P. (2008). Upgrading and pollution reduction of fish industry process-waters by membrane technology, Chapter 4. In *Added Value to Fisheries Wastes*. Research Signpost—India Publishers, *Transworld Research Network-Kerala*, **81(99)**, 575-595.
- Miles, R. D. & Chapman, F. A. (2006). The benefits of fish meal in aquaculture diets. IFAS Extension, University of Florida, 1–7.
- Nilsang, S., Lertsiri, S., Suphantharika, M. & Assavanig, A. (2005). Optimization of enzymatic hydrolysis of fish soluble concentrate by commercial proteases. *Journal of Food Engineering*, **70(4)**, 571–578. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.10.011>
- Nunes, S. P., Culfaz-Emecen, P. Z., Ramon, G. Z., Visser, T., Koops, G. H., Jin, W. & Ulbricht, M. (2020). Thinking the future of membranes: Perspectives for advanced and new membrane materials and manufacturing processes. *Journal of Membrane Science*, **598**, 117761. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2019.117761>
- 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.
- Pacheco-Aguilar, R., Soto, P. L., Ruiz, G. C., Carreño, L. F. G. & Ríos, E. M. (2009). Efecto de la concentración de quitosano y pH sobre la remoción de sólidos en agua de cola de la industria sardinera. *Interiencia*, **34(4)**, 274–279.
- Parvathy, U., Jeyakumari, K. H. R. A. & Zynudheen, A. A. (2017). Biological treatment systems for fish processing wastewater-A review. *Nature Environment and Pollution Technology*, **16**, 2, 44-453
- Pedreño, J. N., Herrero, J. M., Lucas, I. G. & Beneyto, J. M. (1995). Residuos orgánicos y agricultura. Universidad de Alicante. 27-95.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.05.038>
- Radziemska, M., Vaverková, M. D., Adamcová, D., Brtnický, M. & Mazur, Z. (2019). Valorization of fish waste compost as a fertilizer for agricultural use. *Waste and Biomass Valorization*, **10(9)**, 2537–2545. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0288-8>
- Rahman, S., Islam, A., Hassan, M. I., Kim, J. & Ahmad, F. (2019). Unfoldness of the denatured state of proteins determines urea: Methylamine counteraction in terms of Gibbs free energy of stabilization. *International Journal of Biological Macromolecules*, **132**, 666–676. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813019306014>
- Ramírez-Duarte, W. F., Jin, J., Kurobe, T. & Teh, S. J. (2016). Effects of prolonged exposure to low pH on enzymatic and non-enzymatic antioxidants in Japanese Medaka (*Oryzias latipes*). *Science of The Total Environment*, **568**, 26–32. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969716311160>
- Rustad, T., Storrø, I. & Slizyte, R. (2011). Possibilities for the utilisation of marine by-products. *International Journal of Food Science & Technology*, **46(10)**, 2001–2014. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02736.x>
- Saidi, S., Saoudi, M. & Amar, R. Ben. (2018). Valorisation of tuna processing waste biomass: isolation, purification and characterisation of four novel antioxidant peptides from tuna by-product hydrolysate. *Environmental Science and Pollution Research*, **25(18)**, 17383–17392. DOI <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1809-5>
- Sathivel, S. & Bechtel, P. J. (2006). Properties of soluble protein powders from Alaska pollock (*Theragra chalcogramma*). *International Journal of Food Science & Technology*, **41(5)**, 520–529. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.01101.x>

- Sathivel, S., Bechtel, P. J., Babbitt, J., Smiley, S., Crapo, C., Reppond, K. D. & Prinyawiwatukul, W. (2003). Biochemical and functional properties of herring (*Clupea harengus*) byproduct hydrolysates. *Journal of Food Science*, **68**(7), 2196–2200. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb05746.x>
- Sharma, B., Sarkar, A., Singh, P. & Singh, R. P. (2017). Agricultural utilization of biosolids: A review on potential effects on soil and plant grown. *Waste Management*, **64**, 117–132. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X17301125>
- Shavandi, A., Hu, Z., Teh, S., Zhao, J., Carne, A., Bekhit, A. & Bekhit, A. E.-D. A. (2017). Antioxidant and functional properties of protein hydrolysates obtained from squid pen chitosan extraction effluent. *Food Chemistry*, **227**, 194–201. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.099>
- Shi, W., Healy, M. G., Ashekuzzaman, S. M., Daly, K., Leahy, J. J. & Fenton, O. (2021). Dairy processing sludge and co-products: A review of present and future re-use pathways in agriculture. *Journal of Cleaner Production*, **314**, 128035. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128035>
- 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. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352513419301255>
- Shoushtarian, F. & Negahban-Azar M. (2020). Worldwide Regulations and Guidelines for Agricultural Water Reuse: A Critical Review, *Water*, **12**, 971. <https://doi.org/10.3390/w12040971>
- Shukla, R., Mazahir, F., Chaturvedi, D. & Agarwal, V. (2020). Application of Membrane Processing Techniques in Wastewater Treatment for Food Industry. In Applications of Membrane Technology for Food Processing Industries. CRC Press. 229–253.
- Stepnowski, P., Olafsson, G., Helgason, H. & Jastorff, B. (2004). Recovery of astaxanthin from seafood wastewater utilizing fish scales waste. *Chemosphere*, **54**(3), 413–417. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(03\)00718-5](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(03)00718-5)
- Stine, J. J., Pedersen, L., Smiley, S. & Bechtel, P. J. (2012). Recovery and utilization of protein derived from surimi wash water. *Journal of Food Quality*, **35**(1), 43–50. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2011.00424.x>
- Szymczak, M., Felisiak, K. & Szymczak, B. (2018). Characteristics of herring marinated in reused brines after microfiltration. *Journal of Food Science and Technology*, **55**(11), 4395–4405. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3343-3>
- Tacharatanamane, R., Cherdrungsi, K. & Youravong, W. (2004). Fractionation of proteins in surimi waste water using membrane filtration. *Jurnal Teknologi*, **41**(1), 1–10. <https://doi.org/10.11113/jt.v41.713>
- Taheri, A., Farvin, K. H. S., Jacobsen, C. & Baron, C. P. (2014). Antioxidant activities and functional properties of protein and peptide fractions isolated from salted herring brine. *Food Chemistry*, **142**, 318–326. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.06.113>
- 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-Burgos, J. L., Carbajal-Hernández, J. J., Sánchez-Fernández, L. P., Moreno-Armendáriz, M. A., Tello-Ballinas, J. A. & Hernández-Bautista, I. (2019). An Analytical Hierarchy Process to manage water quality in white fish (*Chirostoma estor estor*) intensive culture. *Computers and Electronics in Agriculture*, **167**, 105071. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105071>
- Vildmyren, I., Drotningvik, A., Oterhals, Å., Ween, O., Halstensen, A. & Gudbrandsen, O. A. (2018). Cod residual protein prevented blood pressure increase in Zucker fa/fa rats, possibly by Inhibiting activities of angiotensin-converting enzyme and renin. *Nutrients*, **10**(12), 1820. <https://doi.org/10.3390/nu10121820>
- Wang, L. K., Aulenbach, D. B. & Shammas, N. K. (2010). Treatment of Seafood Processing Wastewater. In Flotation Technology. Springer, **12**, 567–592. https://doi.org/10.1007/978-1-60327-133-2_17
- 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. <https://doi.org/10.3390/ani9080521>
- Wattanukul, W., Wattanakul, U., Thongprajukaew, K. & Muenpo, C. (2017). Fish condensate as effective replacer of fish meal protein in diet for striped snakehead, *Channa striata* (Bloch). *Fish Physiology and Biochemistry*, **43**(1), 217–228. <https://doi.org/10.1007/s10695-016-0281-8>
- Wu, D., Zhou, L., Gao, M., Wang, M., Wang, B., He, J., Luo, Q., Ye, Y., Cai, C., Wu, P.M Zhang, Y. & Pu, Q. (2018). Effects of stickwater hydrolysates on growth performance for yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). *Aquaculture*, **488**, 161–173. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.01.031>
- Wu, T. H. & Bechtel, P. J. (2012). Screening for low molecular weight compounds in fish meal solubles by hydrophilic interaction liquid chromatography coupled to mass spectrometry. *Food Chemistry*, **130**(3), 739–745. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.05.088>
- Wu, T. H., Nigg, J. D., Stine, J. J. & Bechtel, P. J. (2011). Nutritional and chemical composition of by-product fractions produced from wet reduction of individual red salmon (*Oncorhynchus nerka*) heads and viscera. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, **20**(2), 183–195. <https://doi.org/10.1080/10498850.2011.557524>

- Wu, Z., Duangmanee, P., Zhao, P., Juntawong, N. & Ma, C. (2016). The effects of light, temperature, and nutrition on growth and pigment accumulation of three *Dunaliella salina* strains isolated from saline soil. *Jundishapur Journal of Microbiology*, **9(1)**, 1-9 [10.5812/jjm.26732](https://doi.org/10.5812/jjm.26732)
- Yeong, W. T., Mohammad, A. W., Anuar, N. & Rahman, R. A. (2002). Potential use of nanofiltration membrane in treatment of wastewater from fish and surimi industries. *Songklanakarin Journal Science Technology*, **24**, 977–987.
- Zamora-Sillero, J., Gharsallaoui, A. & Prentice, C. (2018). Peptides from fish by-product protein hydrolysates and its functional properties: An overview. *Marine Biotechnology*, **20(2)**, 118–130 <https://doi.org/10.1007/s10126-018-9799-3>
- Zhang, Y., Zhang, L., Huang, L., Dong, Z., Lu, Q., Zou, Y. & Storebakken, T. (2022). Evaluation of conventional or hydrolyzed stickwater from food-grade skipjack tuna by-product in diet for hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*♀ × *Epinephelus lanceolatus*♂). *Aquaculture*, **548**, 737714 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737714>