

© 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, Bâcum, 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 procesamiento 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 descargados 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

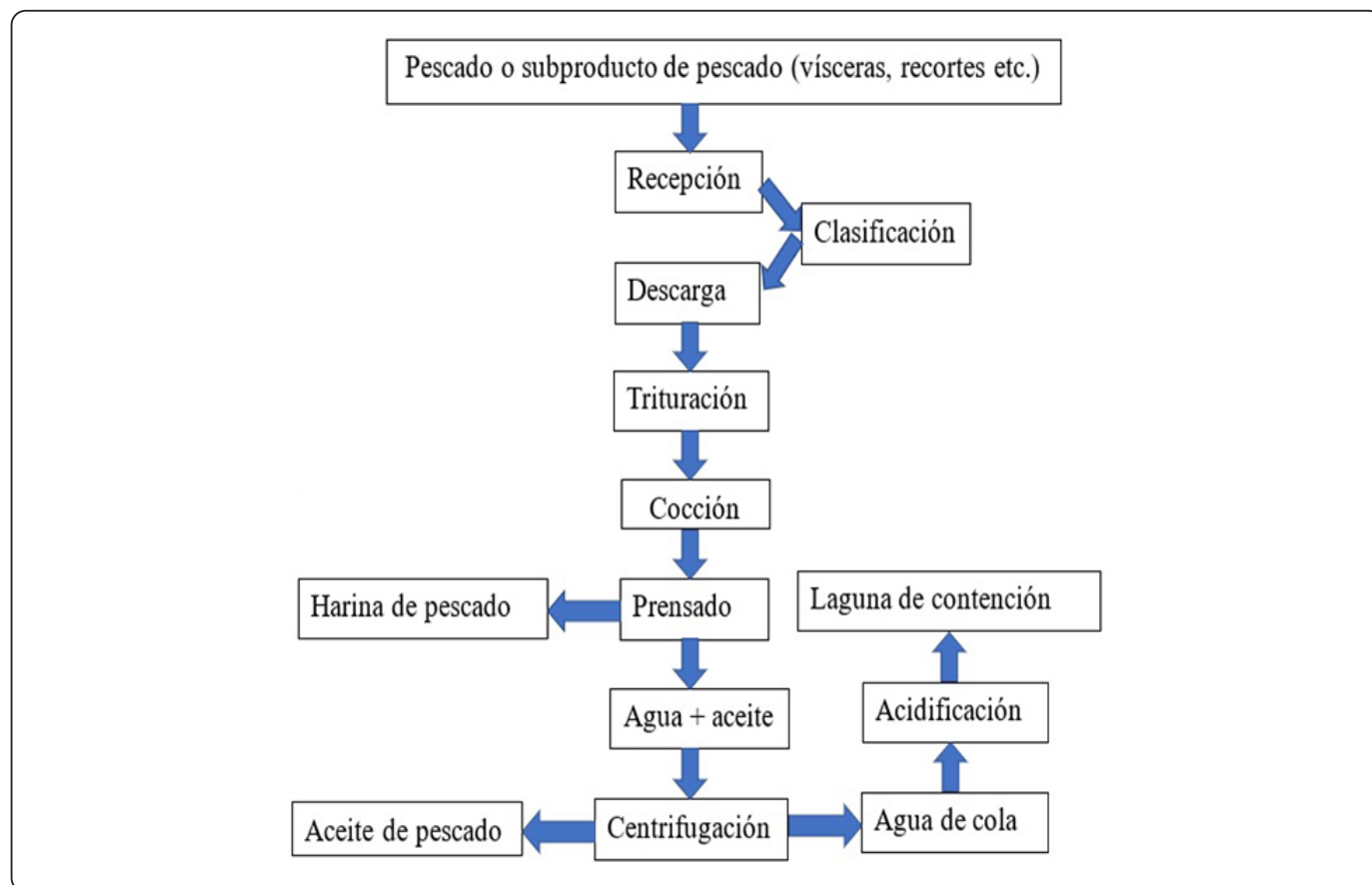


Figura 1. Esquema del proceso para la obtención de la harina y el aceite de pescado, además del agua de cola (Modificado de Gómez *et al.*, 2022).

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 (Goycoolea *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 isoelectrico 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)