Recursos Naturales y Sociedad, 2025. Vol. 11 (2): 306-322. https://doi.org/10.18846/renaysoc.2025.11.11.02.0018

Opportunities for the recovery and conversion of fish by-products into value-added products

Oportunidades para el rescate y la conversión de subproductos de la pesca en productos de valor

Liliana Rojo Arreola[1]*

Resumen

La pesca y la acuacultura generan una cantidad significativa de subproductos durante su procesamiento, los cuales suelen ser descartados a pesar de su alto contenido nutricional y funcional. Este manuscrito analiza el volumen, composición y destino de los residuos sólidos pesqueros, con énfasis en especies de escama. Se describen algunos procesos para su aprovechamiento, desde escalas artesanales hasta industriales, enfocadas en la obtención de biofertilizantes, proteínas, hidrolizados, enzimas, colágeno, aceites, harinas y biocombustibles. Se identifican cuellos de botella clave como el acopio y la falta de infraestructura, y se proponen estrategias viables para su valorización. En este documento se destaca el potencial de los subproductos como recurso bioeconómico, ambientalmente sostenible y de alto valor para sectores agroalimentarios, farmacéuticos y energéticos.

Palabras clave: subproductos pesqueros, valorización, bioproductos.

[1]Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur, 23096, México
*Autor de correspondencia: lrojo@cibnor.mx

Abstract

Fishing and aquaculture generate a significant volume of by-products during processing, which are often discarded despite their high nutritional and functional content. This manuscript analyzes the volume, composition, and fate of solid fish waste, with a particular focus on finfish species. It presents some processes for their recovery and utilization from artisanal to industrial scales, aimed at producing biofertilizers, proteins, hydrolysates, enzymes, collagen, oils, fishmeal, and biofuels. Key bottlenecks such as waste collection and lack of infrastructure are identified, and viable strategies for their valorization are proposed. This document highlights the potential of these by-products as high-value, environmentally sustainable bioeconomic resources for the agri-food, pharmaceutical, and energy sectors.

Key words: Fish by-products, waste valorization, bioproducts.

Antecedentes

La industria de productos del mar, tanto de procedencia pesquera como acuícola, es imprescindible en el sector alimentario mundial. Los pescados y mariscos son reconocidos por su alto valor nutricional al aportar cantidades significativas de micro y macronutrientes esenciales para una dieta saludable. Además, desempeñan un papel crucial en la seguridad alimentaria global, y sostiene millones de empleos (FAO 2024). Sin embargo, esta actividad genera altos volúmenes de subproductos, pues, de acuerdo con estimaciones mundiales, entre el 30 y 70% del volumen de los productos marinos capturados o producidos para consumo humano corresponde a cabezas, vísceras, espinas, pieles, exoesqueletos, etc. (Figura 1A), los cuales son considerados subproductos que rara vez se aprovechan y que en su mayoría son descartados durante el procesamiento previo a la comercialización (FAO, 2024).

En México, se producen anualmente más de 2 millones de toneladas de productos pesqueros y acuícolas, el 84% de dicha producción proviene de la pesca (CONAPESCA, 2024). La mayor parte de la producción pesquera mexicana (83%) se procesa en plantas especializadas, el 28% de este volumen es convertido en harinas o aceites, para lo cual generalmente se utiliza el pescado entero (FAO, 2024). El resto, se congela, enlata, o se ofrece fresco, generando durante el proceso

subproductos como cabezas, vísceras, pieles, etc., que anualmente pueden representar más de 400,000 toneladas (Figura 1B); para dimensionar, con dicho volumen se podría llenar el Estadio Azteca. Este desecho solido puede convertirse en un riesgo ambiental y sanitario, pero también, en productos de alto valor, una oportunidad actualmente desaprovechada principalmente por desconocimiento, pero también por el gran reto que representa (Alonso *et al.,* 2010).

En Baja California Sur la pesca es una de las principales actividades económicas, con 13,902 personas que se dedican directamente a esta, ocupando el 4º lugar nacional por volumen extraído, el cual en 2024 alcanzó las 204,271 toneladas (CONAPESCA, 2024). La mayor parte de la producción pesquera (60%) es procesada en alguna de las 33 plantas industriales activas en BCS (SEPADA, 2015), las cuales cuentan con infraestructura para congelación, enlatado, reducción y otros procesos, con una capacidad instalada de 127 toneladas por hora (SEPADA, 2021). Aun considerando que cerca del 14% del pescado capturado es utilizado entero para ser convertido en harinas y aceites; se calcula un acumulado anual de 70,000 toneladas de subproductos sólidos como cabezas, vísceras y escamas (Fig. 1B) que generalmente son desechados durante el procesamiento de pescados y mariscos en nuestro estado. Entre las prácticas para el desecho más comunes están el confinamiento en rellenos sanitarios, el vertido en el mar e incluso el abandono. Esto genera impactos negativos en el ambiente e incluso en la salud humana, y significa también un desaprovechamiento de compuestos de alto valor.

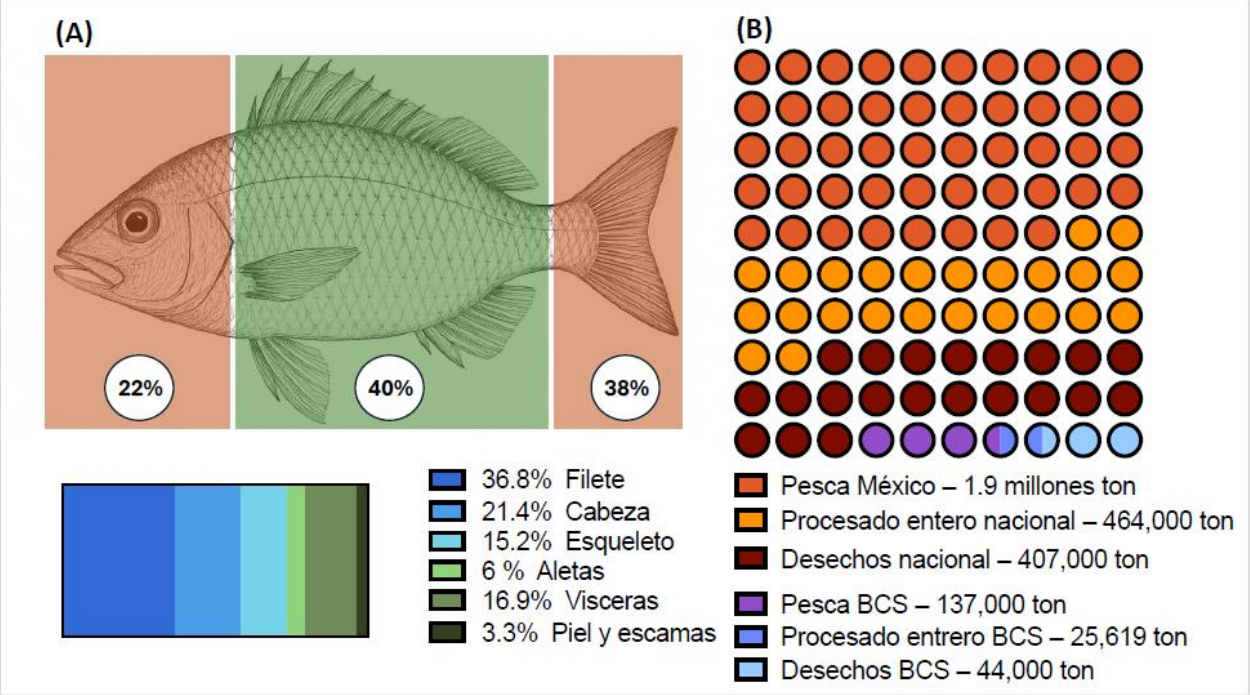

Figura 1. Composición y volumen de los subproductos pesqueros generados en México y Baja California Sur. La figura muestra (A) la distribución porcentual estimada de los componentes del pescado tras su procesamiento, destacando que solo el 36.8 % corresponde a filete, mientras que el 63.2 % restante está compuesto por subproductos como cabeza (21.4 %), vísceras (16.9 %), esqueleto (15.2 %), aletas (6 %) y piel con escamas (3.3 %). En (B), se presenta el volumen total de pesca, uso de pescado entero para obtención de harinas y el cálculo de desechos generados en México y Baja California Sur de acuerdo con el reporte CONAPESCA 2024. A nivel nacional, se capturaron más de 2 millones de toneladas, de las cuales 522,087 toneladas se convirtieron en harinas utilizando pescados enteros; se calcula que 480,892 toneladas se descartaron como residuos sólidos. En BCS, se capturaron 204,271 toneladas en 2024, de las cuales se convirtieron en harina 29,002 toneladas y se calcula que 70,108 toneladas corresponden a subproductos descartados, evidenciando una oportunidad significativa para su aprovechamiento.

En el presente trabajo se presenta un análisis de la conformación general de los sub-productos de pesca en México y BCS, con un enfoque especial en especies de escama ya que conforman la mayor proporción del volumen (Figura 2) y cuyos subproductos sólidos están conformados principalmente por esqueleto, vísceras, cabezas, escamas y piel. Se exponen también propuestas accesibles al contexto local para su rescate y transformación en productos con valor comercial como una estrategia de valorización de los recursos marinos en nuestro estado y otras localidades con esquemas similares. Las alternativas aquí expuestas tendrían también un impacto ambiental positivo, al aminorar la presión extractiva que ejercen algunas actividades pesqueras.

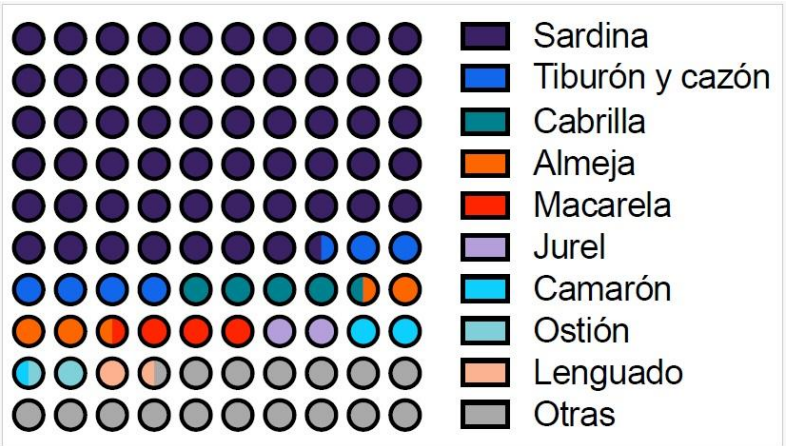

Figura 2. Principales especies capturadas y procesadas en Baja California Sur, ordenadas por volumen. Destacan la sardina y la macarela como las principales especies extraídas. Esta distribución es relevante para identificar qué subproductos son más abundantes y, por lo tanto, cuáles tienen mayor potencial de valorización, especialmente en el caso de especies de escama, cuyos residuos sólidos (cabeza, piel, vísceras, espinas) son técnicamente aprovechables para la obtención de compuestos de alto valor.

El desperdicio nutricional en los desechos pesqueros

Lejos de ser inertes o inútiles, los desechos sólidos o subproductos del procesamiento de pescados y mariscos contienen altas concentraciones de nutrientes esenciales y otras moléculas de valor, entre ellos: proteínas y aminoácidos esenciales, ácidos grasos poliinsaturados omega-3 (PUFAs), carotenoides, vitaminas, minerales, quitina y enzimas (Mutalipassi *et al.,* 2021) (Figura 3).

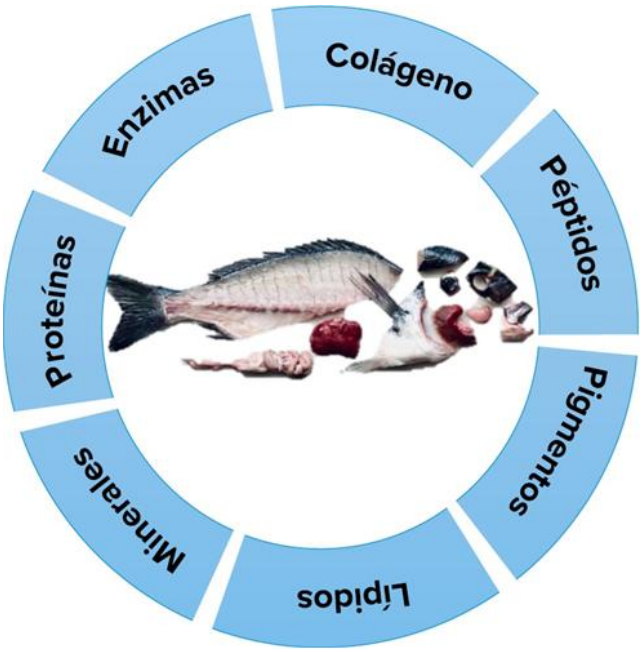

Figura 3. Principales nutrientes y moléculas encontradas en los subproductos de la pesca y acuacultura.

El desecho sistemático de estos recursos no solo representa una pérdida económica y ecológica, sino también un desperdicio importante de nutrientes y otras moléculas que podrían ser extraídas y reutilizadas como ingredientes nutracéuticos o aditivos funcionales en las industrias alimentaria, agrícola, farmacéutica y cosmética; todos con un alto valor en el mercado. Además, algunos de estos residuos ofrecen potencial para la producción de biocombustibles, abriendo nuevas rutas hacia una economía más circular y sustentable (Figura 4).

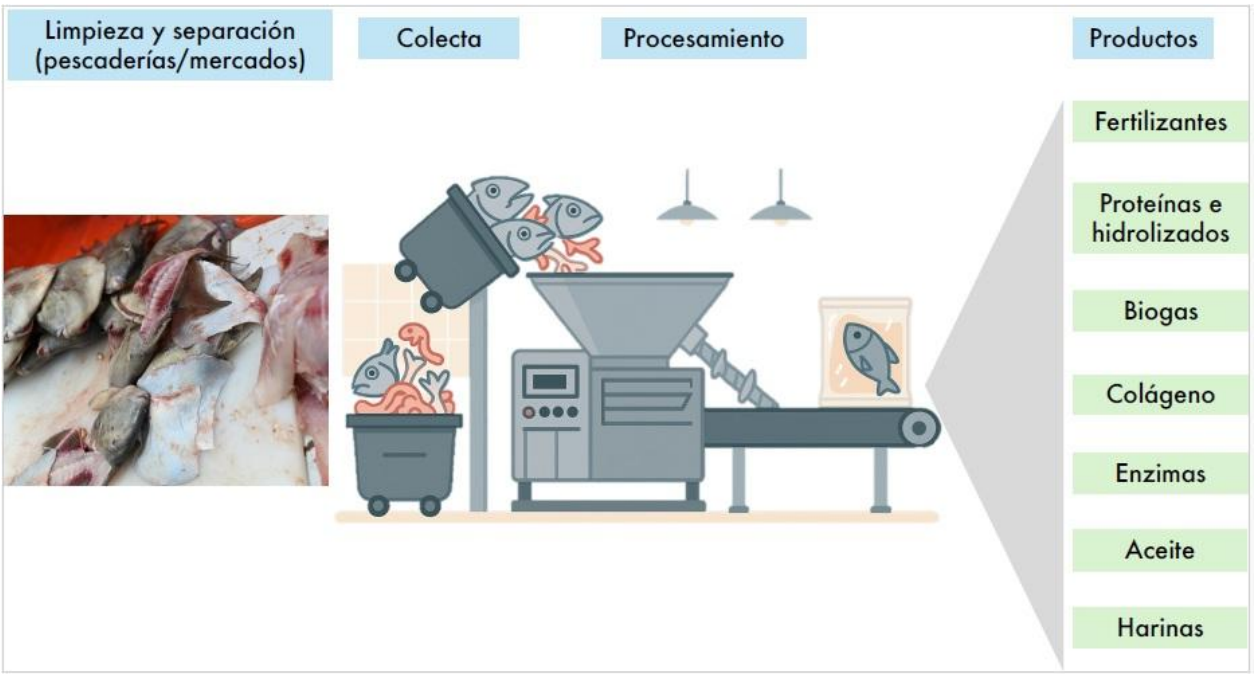

Figura 4. Ruta general para la valorización de subproductos pesqueros. Esquema del flujo general para el aprovechamiento de residuos pesqueros desde su origen hasta su transformación en productos de valor. El proceso inicia con la limpieza y separación de los subproductos en puntos como pescaderías y mercados, seguido de la colecta y su envío a unidades de procesamiento. A partir de ahí, se pueden generar diversos productos: fertilizantes, biogás, proteínas e hidrolizados, aceite, colágeno, enzimas y harinas, cada una con un proceso específico. Esta ruta ilustra las múltiples salidas posibles desde una materia prima común, y destaca el potencial de integrar ciertos procesos en modelos circulares y escalables adaptados al contexto local.

Es posible extraer compuestos de valor a partir de subproductos de pescado a diferentes escalas, desde artesanal hasta industrial (Figura 5). La elección del método más adecuado depende de múltiples factores, como la naturaleza del residuo, la capacidad de procesamiento y el uso final del producto. Actualmente existen tecnologías con alto nivel de desarrollo para extraer compuestos de valor a partir de residuos de pescado, entre las que se incluyen procesos mecánicos, químicos y térmicos (Figura 5). Estos han sido fundamentales para el desarrollo inicial de productos derivados como harinas, aceites y colágeno. No obstante, algunos métodos son mejorables en términos de eficiencia, selectividad y sostenibilidad ambiental. Tanto la academia como la industria han

intensificado sus esfuerzos para desarrollar y adoptar alternativas más innovadoras, limpias y responsables con el ambiente, con el fin de optimizar el aprovechamiento de los subproductos pesqueros (Khawli *et al.*, 2019; Kaanane y Mkadem, 2020; Chavan *et al.*, 2022).

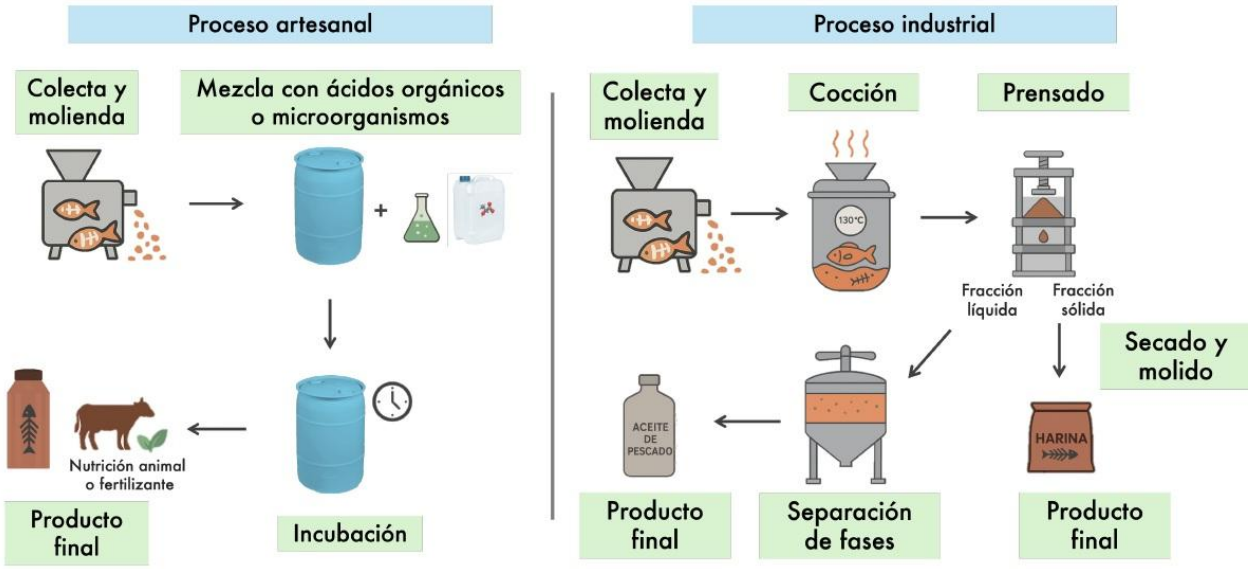

Figura 5. Ejemplos de procesos artesanales y semi-industriales para la valorización de residuos de la pesca. A nivel artesanal se muestra el proceso de ensilaje, obteniendo un producto nutritivo que puede ser usado para alimentación animal o como fertilizante. A nivel semi-industrial, se muestra el proceso de obtención de harina y aceite de pescado.

Los biofertilizantes, nutrientes del mar para el campo

Los desechos de pescado (especialmente vísceras, cabezas, y espinas) constituyen una fuente rica en nitrógeno, fósforo, potasio, aminoácidos y micronutrientes esenciales para la agricultura (Devi *et al.,* 2024). A través de procesos relativamente simples como la fermentación aeróbica o anaeróbica, la hidrólisis enzimática o el compostaje controlado, estos residuos pueden transformarse en biofertilizantes líquidos o sólidos (Ahuja *et al.,* 2020). Estos insumos no solo mejoran la fertilidad del suelo y la disponibilidad de nutrientes, sino que además estimulan la microbiota benéfica del suelo, fortalecen la resiliencia de los cultivos y contribuyen a prácticas agrícolas regenerativas. Su uso reduce la dependencia de fertilizantes sintéticos. Aunque el mercado global de biofertilizantes aún está en expansión, en México y América Latina hay una creciente demanda por insumos orgánicos certificados, especialmente en cultivos de exportación, agroecología y sistemas de transición (CEPAL, FAO, IICA, 2012). Esto posiciona a los biofertilizantes de origen marino como una alternativa rentable, de bajo costo e impacto ambiental positivo, ideal para su implementación en contextos rurales o de cooperativas pesqueras, para lo cual existen manuales detallados (Toppe y Olsen, 2024).

Las proteínas e hidrolizados, fuente de aminoácidos esenciales

Entre los posibles de productos obtenidos del procesamiento de pescado, las proteínas y sus derivados destacan como un producto con alto valor nutricional, rico en aminoácidos esenciales (Zatta Cassol *et al.,* 2025), apto para el consumo humano y animal. Existen diversos métodos de producción que permiten obtener proteínas e hidrolizados como ingrediente funcional versátil, con características nutricionales, tecnológicas y sensoriales favorables (Sasidharan y Venugopal, 2020). Su facilidad de elaboración y capacidad para integrarse en alimentos convencionales lo convierten en una alternativa atractiva para el enriquecimiento proteico de otros alimentos.

Los extractos proteicos se obtienen mediante procesos que permiten solubilizar y recuperar las proteínas presentes en subproductos como vísceras, cabezas, pieles, espinas y restos de músculo. Entre las técnicas más utilizadas destacan los métodos químicos, como la hidrólisis y solubilización en ácidos o álcalis, y técnicas de extracción con soluciones salinas. Una vez solubilizadas, las proteínas se separan mediante filtración o centrifugación, y el extracto puede concentrarse y secarse para su posterior uso en formulaciones alimentarias, nutrición animal, biofertilizantes o ingredientes funcionales. La elección del método depende del tipo de residuo, del perfil proteico deseado y del uso final del producto.

Estos concentrados de proteínas se comercializan en diferentes presentaciones, según su uso final y grado de procesamiento. En el sector agrícola, es común encontrarlos como líquidos concentrados o crudos, utilizados como fertilizantes orgánicos o bioestimulantes, aunque requieren condiciones adecuadas de conservación por su limitada estabilidad. Para aplicaciones de mayor valor, como alimentos funcionales, nutrición deportiva o cosmética, se presentan en forma de polvos obtenidos generalmente por secado por aspersión, lo que facilita su manejo, transporte y vida útil. Asimismo, algunos extractos se ofrecen como pastas concentradas para usos industriales o se integran directamente en productos compuestos, como piensos, harinas enriquecidas o fertilizantes granulados. La elección de la presentación depende del mercado objetivo, los requerimientos regulatorios y las condiciones logísticas de almacenamiento y distribución.

Por otro lado, los hidrolizados de proteínas (es decir fragmentos de proteínas) se obtienen generalmente con ayuda de enzimas, moléculas que degradan a las proteínas bajo condiciones controladas de pH y temperatura, conteniendo compuestos funcionales de alto valor agregado (Sasidharan y Venugopal 2020). Los hidrolizados de proteínas suelen ser tener una mayor

biodisponibilidad al ser digeridos más eficientemente. A partir de la hidrólisis de proteína, también es posible obtener péptidos (cadenas cortas de amino ácidos), se sabe que algunos péptidos obtenidos de subproductos de pescado pueden tener características bioactivas como antioxidantes, antiinflamatoria, antimicrobianas, etc. (Cheung *et al.,* 2015), aunque su obtención, caracterización y enriquecimiento requiere generalmente de tecnologías con alto grado de sofisticación.

El colágeno, una proteína abundante en desechos de pesca

Algunos desechos de la pesca, en especial pieles, escamas y espinas, son tejidos ricos en colágeno, una proteína de gran valor en diversas aplicaciones (Rajabimashhadi *y* 2023). Mediante procesos de extracción y purificación ya estandarizados, el colágeno puede ser recuperado y utilizado en industrias cómo la cosmética, alimentaria, biomédica, farmacéutica, nutraceútica e incluso en bioplásticos (Silva *et al.,* 2014). La recuperación de colágeno y desarrollo de sus aplicaciones industriales no solo contribuye a la reducción de residuos, sino que también agrega valor económico a los subproductos de la pesca, fomentando una economía circular y sostenible a diferentes niveles, desde artesanal hasta industrial.

Las enzimas, un tesoro escondido en los desechos

Las enzimas, que también son proteínas, son responsables de prácticamente todas las reacciones químicas que sustentan la vida (Cornish-Bowden 2014). Estas moléculas tienen una enorme relevancia industrial y un alto valor comercial, especialmente por su capacidad para catalizar procesos de manera específica y eficiente (Fasim *et al*., 2021). Actualmente, la mayoría de las enzimas disponibles en el mercado provienen de bacterias y levaduras. Sin embargo, numerosas investigaciones han documentado la presencia de enzimas funcionales en diversas especies marinas explotadas comercialmente, tanto en pesca como en acuacultura (Rossano *et al*., 2011; Salazar-Leyva *et al*., 2013; Sabtecha *et al*., 2014; Perera *et al*., 2020; Rojo-Arreola *et al.*, 2023). Dichas enzimas suelen presentar propiedades catalíticas únicas, al estar adaptadas a condiciones propias de ambientes marinos. Estas características les confieren un alto potencial para su aplicación en sectores como la industria alimentaria, farmacéutica, cosmética, agrícola y ambiental. A pesar de ello, no existen esfuerzos sistemáticos para su recuperación a partir de los subproductos pesqueros.

Esto representa una oportunidad desaprovechada, ya que muchos de los tejidos descartados en los residuos sólidos del pescado (como estómagos, páncreas e intestinos) son precisamente los órganos donde se sintetizan enzimas digestivas, y por lo tanto constituyen una fuente viable para su extracción (Coppola *et al*., 2021; Khiari, 2024). La recuperación de estas enzimas no solo es técnicamente factible, sino que permitiría valorizar fracciones actualmente subutilizadas del recurso.

Aceites y harinas: oportunidades sustentables para su producción

El proceso para producción de harinas y aceites de pescado requiere varios pasos para separar sus componentes sólidos, grasas y acuosos (Figura 5). Primero, el pescado se tritura para reducir el tamaño de partícula, en la segunda fase se somete a cocción a altas temperaturas (cerca de 130 °C) para liberar de los tejidos el agua y el aceite, así como coagular las proteínas presentes. Después, la masa cocida se somete a prensado, obteniéndose dos fracciones: una fase sólida que contiene entre el 60 y 80 % de la materia compuesta de proteínas y huesos, y una fase líquida compuesta por agua, aceite, proteínas solubles, vitaminas y minerales. Las partículas presentes en esta fase líquida se eliminan mediante centrifugación en decantador, y posteriormente el aceite se separa por centrifugación adicional. El agua restante, conocida como “agua de cola”, se concentra en evaporadores se reincorpora a la fracción sólida. Finalmente, la fracción sólida es deshidratada, molida y almacenada en sacos o a granel. El aceite recuperado se almacena en tanques, listo para su comercialización o refinamiento posterior (FAO, 1986).

Las harinas y aceites de pescado son utilizados casi en su totalidad para consumo animal, particularmente destinado para especies cultivadas, una práctica controversial dado su alto impacto ambiental, económico y social (Majluf *et al*., 2024). En México operan 11 fábricas de harina y aceite (Shea *et al.*, 2025), donde se procesan 522,087 toneladas de pescado (CONAPESCA, 2024). Históricamente, a nivel nacional, BCS figura en el tercer o cuarto productor de harinas y aceite de pescado, en el estado se procesan 29,002 toneladas principalmente de sardina y macarela, a partir de las cuales en 2024 se produjeron 15,202 toneladas de estos productos (CONAPESCA, 2024) (Figura 1).

En las fábricas mexicanas, las harinas y aceites de pescado son producidos a partir de pescado completo extraído para tal fin; esta práctica representa un rezago en la tendencia mundial, pues globalmente hay un incremento significativo en la utilización de subproductos de la pesca y

acuacultura para este propósito, pues el 34% de la harina de pescado y el 53% del aceite de pescado producidos globalmente provienen de subproductos de la pesca (FAO, 2024), mientras que en México el porcentaje es solo del 0.01% (CONAPESCA, 2024). Teniendo en BCS la infraestructura y capacidad operativa, existe una oportunidad estratégica para transitar hacia modelos de producción más sostenibles, en los que se incentive el uso de subproductos pesqueros (como cabezas, vísceras, recortes y pescado de bajo valor comercial) en lugar de pescado entero. Esta transición permitiría reducir la presión sobre los recursos marinos y la carga ambiental asociada al descarte de biomasa rica en nutrientes, aprovechando la biomasa actualmente subutilizada y alinearse con las buenas prácticas internacionales, sin comprometer la productividad del sector.

Biocombustibles, el potencial energético a partir de residuos pesqueros

Los subproductos sólidos de pescado son insumos viables para la generación de biocombustibles, como biogás y biodiésel (Venugopal, 2021). La generación de biogas se realiza mediante digestión anaerobia, obteniéndose una mezcla de metano y dióxido de carbono útil para generación de calor, electricidad o combustible vehicular (Cadavid-Rodríguez *et al*., 2019). A escala artesanal, esta práctica puede implementarse con biodigestores de bajo costo (como tanques plásticos adaptados o sistemas tipo domo) que permiten procesar los residuos frescos generados en comunidades costeras con acceso limitado a servicios energéticos (Cadavid-Rodríguez *et al*., 2019).

En un modelo semiindustrial, se utilizan biodigestores más sofisticados con control de temperatura, agitación y carga continua, los cuales son capaces de procesar entre 1 y 5 toneladas diarias de residuos. Esto permite generar biogás suficiente para cubrir parte de las necesidades energéticas de una planta pesquera, o para integrarse a redes locales de calor o electricidad (Bücker *et al*., 2020).
El principal reto en todos los niveles es la estabilización de la carga orgánica, la reducción de contenido lipídico excesivo (que puede inhibir el proceso microbiano) y el cumplimiento de normas sanitarias. Sin embargo, cuando se optimiza el proceso, el digestato remanente puede incluso utilizarse como fertilizante, añadiendo valor adicional.

Por otro lado, el aceite de pescado, especialmente el que proviene de subproductos no aptos para uso alimentario, puede transformarse en biodiésel mediante un proceso de transesterificación, en el cual los triglicéridos se convierten en ésteres metílicos (FAME, siglas en inglés) utilizando un alcohol (generalmente metanol) y un catalizador (como hidróxido de sodio o potasio) (Jaiswal *et al.*, 2024). A nivel artesanal, la producción de biodiésel puede lograrse con equipos básicos en laboratorios

comunitarios o centros de innovación rural, permitiendo abastecer de combustible a pequeñas embarcaciones o vehículos locales.

Aprovechar estas rutas, especialmente en contextos donde ya existen plantas procesadoras o cadenas de frío, puede representar una estrategia eficiente de valorización energética y un paso relevante hacia sistemas pesqueros más sostenibles y circulares.

Discusión

Los productos derivados de los residuos de pescado (como harinas, aceites, hidrolizados, péptidos bioactivos, colágeno, quitina, fertilizantes y bioestimulantes) pueden obtenerse en distintos niveles de escala: artesanal, semiindustrial e industrial. La escala de producción depende de diversos factores, entre ellos el tipo y volumen de materia prima disponible, el grado de valorización deseado, los requisitos de calidad del mercado objetivo y la capacidad tecnológica instalada. A nivel artesanal, predominan procesos simples como la cocción, prensado, fermentación o compostaje, adecuados para producir fertilizantes líquidos, harinas de bajo procesamiento o aceites crudos, generalmente destinados a consumo local o agrícola (Figura 5). En el ámbito semiindustrial, se incorporan tecnologías intermedias como digestores, separadores centrífugos o sistemas de filtración, lo que permite obtener productos más estables y estandarizados, como hidrolizados proteicos, harinas funcionales o aceites parcialmente refinados (Figura 5). En la escala industrial, se implementan procesos más sofisticados (como hidrólisis enzimática controlada, ultrafiltración, secado por aspersión, extracción con CO_2 supercrítico o purificación molecular) que permiten obtener ingredientes de alto valor añadido y con calidad apta para los sectores nutracéutico, cosmético, farmacéutico o alimentario humano. La elección del nivel de procesamiento está determinada por el volumen inicial de materia prima disponible, destino final del producto, las exigencias regulatorias, el acceso a infraestructura y la viabilidad económica del modelo productivo.

Los retos y alternativas

Es verdad que la gestión y el aprovechamiento de subproductos de pescado representa un desafío considerable; por su alto contenido de agua y carga microbiana son propensos a generar olores desagradables cuando no se gestionan adecuadamente (Jayathilakan *et al.*, 2012). Afortunadamente, existe una tendencia global para el aprovechamiento de esta materia prima, lo

que ha provocado auge en las propuestas de investigación relacionadas con el desarrollo de tecnologías para la extracción de compuestos, con un enfoque especial en procesos sustentables, aminorando paulatinamente la brecha entre los conocimientos generados por la investigación y su implementación a diferentes escalas.

Por otro lado, el acopio de residuos pesqueros constituye uno de los principales cuellos de botella para su aprovechamiento. La naturaleza altamente perecedera de estos materiales, su dispersión geográfica y la falta de infraestructura adecuada dificultan su recolección oportuna y segura. En muchos casos, los residuos se generan en volúmenes pequeños y en sitios aislados, lo que encarece su transporte y limita su integración en cadenas de valor. Además, la ausencia de sistemas formales de acopio y separación complica el control de calidad y trazabilidad, factores clave para procesos de transformación con valor agregado. Superar este reto requiere modelos logísticos flexibles, incentivos para la recolección y alianzas entre actores del sector pesquero, logístico e industrial.

Una alternativa viable para ciudades costeras donde se desembarca, procesa o se consume una cantidad considerable de pescado consiste en el establecimiento de sistemas de recolección en mercados municipales, pescaderías y centros de acopio de productos pesqueros, desde donde los residuos orgánicos puedan ser canalizados de forma sistemática hacia plantas de procesamiento o unidades de valorización cercanas. Esta estrategia permitiría centralizar volúmenes pequeños a medianos en puntos nodales urbanos o periurbanos, reducir costos de transporte, facilitar la trazabilidad y asegurar condiciones óptimas de conservación. Además, podría generar empleos locales y fomentar la cultura del aprovechamiento en la cadena de valor pesquera y acuícola. Es pertinente mencionar que, para cada caso, se requieren análisis minuciosos para establecer la viabilidad técnica, económica y comercial de los procesos que involucran el rescate y conversión de los subproductos sólidos de la pesca y acuacultura.

Literatura citada

Ahuja, I., E. Dauksas, J. F. Remme, R. Richardsen y A. K. Løes. 2020. *Fish and fish waste-based fertilizers in organic farming – With status in Norway: A review*. Waste Management 115: 95–112.

Alonso, A. A., L. T. Antelo, I. Otero-Muras y R. Pérez-Gálvez. 2010. Contributing to fisheries sustainability by making the best possible use of their resources: the BEFAIR initiative. Trends in Food Science & Technology 21 (11): 569–578.

Bücker, F., M. Marder, M. R. Peiter, D. N. Lehn, V. M. Esquerdo, L. Antonio de Almeida Pinto y O. Konrad. 2020. *Fish waste: An efficient alternative to biogas and methane production in an anaerobic mono-digestion system*. Renewable Energy 147: 798–805.

Cadavid-Rodríguez, L. S., M. A. Vargas-Muñoz y J. Plácido. 2019. *Biomethane from fish waste as a source of renewable energy for artisanal fishing communities*. Sustainable Energy Technologies and Assessments 34: 110–115.

CEPAL, FAO y IICA. 2012. *Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas*. *Una mirada hacia América Latina y el Caribe*. San Jose, Costa Rica.

Chavan, S., B. Yadav, A. Atmakuri, R. D. Tyagi, J. W. C. Wong y P. Drogui. 2022. *Bioconversion of organic wastes into value-added products: A review*. Bioresource Technology 344: 126398.

Cheung, R. C. F., T. B. Ng y J. H. Wong. 2015. *Marine Peptides: Bioactivities and Applications*. Marine drugs 13 (7): 4006–43. d

CONAPESCA. 2024. *Anuario estadístico de acuacultura y pesca*. En: https://nube.conapesca.gob.mx/sites/cona/dgppe/2024/ANUARIO_ESTADISTICO_DE_ACUACULTURA_Y_PESCA_2024.pdf (consultado el 01/10/2025).

Coppola, D., C. Lauritano, F. Palma Esposito, G. Riccio, C. Rizzo y D. de Pascale. 2021. *Fish Waste: From Problem to Valuable Resource*. Marine drugs 19 (2).

Cornish-Bowden, A. 2014. *Current IUBMB recommendations on enzyme nomenclature and kinetics*. Perspectives in Science 1 (1): 74–87.

Devi, N. L., A. H. Singh, J. Nongthombam, S. Kumar y K. P. Chaudhary. 2024. *Fish Waste Compost - A Fertilizer for Organic Agriculture*. Journal of Experimental Agriculture International 46 (11): 778–785.

FAO. 1986. *The production of fish meal and oil*. FAO Fisheries Tecnical Paper (142) 63 pp.

FAO. 2024. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2024. La transformación azul en acción*. Roma, Italia, 278 pp.

Fasim, A., V. S. More y S. S. More. 2021. *Large-scale production of enzymes for biotechnology uses*. Current Opinion in Biotechnology (69): 68–76.

Jaiswal, K. K., S. Dutta, I. Banerjee, K. S. Jaiswal, N. Renuka, S. K. Ratha y A. K. Jaiswal. 2024. *Valorization of fish processing industry waste for biodiesel production: Opportunities, challenges, and technological perspectives*. Renewable Energy 220: 119601.

Jayathilakan, K., K. Sultana, K. Radhakrishna y A. S. Bawa. 2012. *Utilization of byproducts and waste materials from meat, poultry and fish processing industries: a review*. Journal of Food Science and Technology 49 (3): 278–293.

Kaanane, A. y H. Mkadem. 2020. *Valorization Technologies of Marine By-Products*. Innovation in the Food Sector Through the Valorization of Food and Agro-Food By-Products. IntechOpen. doi: 10.5772/INTECHOPEN.95031.

Khawli, F. Al, M. Pateiro, R. Domínguez, J. M. Lorenzo, P. Gullón, K. Kousoulaki, E. Ferrer, H. Berrada y F. J. Barba. 2019. *Innovative green technologies of intensification for valorization of seafood and their by-products*. Marine Drugs 17 (12): 1–20.

Khiari, Z. 2024. E*nzymes from Fishery and Aquaculture Waste: Research Trends in the Era of Artificial Intelligence and Circular Bio-Economy*. Marine Drugs 22 (9): 411.

Majluf, P., K. Matthews, D. Pauly, D. J. Skerritt y M. L. D. Palomares. 2024. *A review of the global use of fishmeal and fish oil and the Fish In:Fish Out metric*. Science advances 10 (42): 5650.

Mutalipassi, M., R. Esposito, N. Rupcco, T. Viel, M. Constatini y V. Zupo. 2021. *Bioactive Compounds of Nutraceutical Value from Fishery and Aquaculture Discards*. Foods 10 (1495): 1–22.

Perera, E., L. Rodriguez-Viera, V. Montero-Alejo y R. Perdomo-Morales. 2020. *Crustacean proteases and their application in debridement*. Tropical Life Sciences Research 31 (2): 187–209.

Rajabimashhadi, Z., N. Gallo, L. Salvatore y F. Lionetto. 2023. *Collagen Derived from Fish Industry Waste: Progresses and Challenges*. Polymers.

Rojo-Arreola, L., E. Quiroz-Guzmán, J. L. Caballero, E. I. P. García, J. H. C. Murueta y F. L. G. Carreño. 2023. S*hrimp Hepatopancreatic Crude Enzymes as Aids in Rice Bran Hydrolysis: Potential Contributors to Sustainable Aquaculture*. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 23 (9).

Rossano, R., M. Larocca y P. Riccio. 2011. *Digestive enzymes of the crustaceans Munida and their application in cheese manufacturing: a review*. Marine drugs 9 (7): 1220–31.

Sabtecha, B., J. Jayapriya y A. Tamilselvi. 2014. *Extraction and characterization of proteolytic enzymes from fish visceral waste : Potential applications as destainer and dehairing agent*. International Journal of ChemTech Research 6(10): 4504–4510.

Salazar-Leyva, J. A., J. Lizardi-Mendoza, J. C. Ramirez-Suarez, E. M. Valenzuela-Soto, J. M. Ezquerra-Brauer, F. J. Castillo-Yañez y R. Pacheco-Aguilar. 2013. *Acidic proteases from Monterey sardine (Sardinops sagax caerulea) immobilized on shrimp waste chitin and chitosan supports: searching for a by-product catalytic system*. Applied biochemistry and biotechnology 171 (3): 795–805.

Sasidharan, A. y V. Venugopal. 2020. *Proteins and Co-products from Seafood Processing Discards: Their Recovery, Functional Properties and Applications*. Waste and Biomass Valorization 11 (11): 5647–5663.

SEPADA. 2015. *Programa Sectorial Pesquero y Acuacuicola 2015-2021*. Secretaría de Pesca, Acuacultura y Desarrollo Agropecuario Subsecretaría de Pesca y Acuacultura. Gobierno del Estado de Baja California Sur. La Paz, BCS, México.

SEPADA. 2021. *Plan Estatal de Desarrollo 2021 - 2027*. Programa Sectorial de Pesca y Acuacultura 2021-2027. Gobierno de Baja California Sur.

Shea, L. A., C. C. C. Wabnitz, W. W. L. Cheung, D. Pauly y U. Rashid Sumaila. 2025. *Spatial distribution of fishmeal and fish oil factories around the globe*. Science Advances 11 (17).

Silva, T. H., J. Moreira-Silva, A. L. P. Marques, A. Domingues, Y. Bayon y R. L. Reis. 2014. *Marine origin collagens and its potential applications*. Marine drugs 12 (12): 5881–901.

Toppe, J. y R. L. Olsen. 2024. *Fish silage production by fermentation: A manual on how microbial fermentationcan turn fish waste into a valuable feed ingredient or fertilizer*. FAO. Roma, Italia, 278 pp.

Venugopal, V. 2021. *Valorization of Seafood Processing Discards: Bioconversion and Bio-Refinery Approaches*. Frontiers in Sustainable Food Systems 5: 1–21.

Zatta Cassol, G., R.-S. Jonatã Henrique y L. K. Savay-da-Silva. 2025. *Fish Byproducts as a Protein Source: A Critical Review of Fish Protein Concentrate*. Food Reviews International 41 (1): 201–217.

Cita

Rojo Arreola, L. Oportunidades para el rescate y la conversión de subproductos de la pesca en productos de valor. Recursos Naturales y Sociedad, 2025. Vol. 11 (2): 306-322. https://doi.org/10.18846/renaysoc.2025.11.11.02.0018

Sometido: 17 de junio de 2025

Aceptado: 5 de octubre de 2025

Editora asociada: Dra. Tania Zenteno Savin

Editora ejecutiva: Dra. Crisalejandra Rivera Pérez

Diseño gráfico editorial: Ing. Fca. Elizabeth Villegas Carrazco