

Resumen

El pescado y sus subproductos constituyen una fuente importante de proteínas, colágeno, péptidos bioactivos, lípidos y otros compuestos de interés que pueden ser aprovechados mediante diferentes tecnologías de transformación para obtener productos de valor agregado. Sin embargo, la información científica se encuentra dispersa, dificultando establecer rutas integradas de aprovechamiento con potencial agroindustrial. El objetivo de esta investigación fue desarrollar una matriz tecnológica para identificar tecnologías empleadas en el aprovechamiento de subproductos de especies de peces seleccionadas y los productos obtenidos. Para ello, se realizó una revisión sistemática de literatura mediante la aplicación parcial de la metodología PRISMA, utilizando bases de datos científicas y criterios de selección para identificar estudios relevantes. Se analizaron las especies y partes anatómicas utilizadas, como piel, vísceras, cabezas, huesos, escamas, cartílago y músculo, además de las tecnologías, operaciones unitarias, condiciones de procesamiento y productos de valor agregado. Entre las operaciones identificadas se encuentran el lavado, corte, hidrólisis, extracción, separación, filtración, purificación, concentración y liofilización. Finalmente, la información fue organizada en una matriz tecnológica de materia prima–tecnología–producto, permitiendo establecer y comparar rutas tecnológicas de transformación. Además, se incorporó el Nivel de Madurez Tecnológica (TRL) para evaluar el desarrollo y potencial de escalamiento de las alternativas, facilitando la identificación de procesos con aplicación agroindustrial para la valorización integral de los recursos pesqueros.

Palabras clave Abstract

desarrollo agroindustrial; rutas tecnológicas; pescado; nivel de madurez de la tecnología

Fish and its byproducts constitute an important source of proteins, collagen, bioactive peptides, lipids, and other compounds of interest that can be utilized through various processing technologies to obtain value-added products. However, scientific information is scattered, hindering the establishment of integrated utilization pathways with agro-industrial potential. The objective of this research was to develop a technological matrix to identify technologies used in the utilization of byproducts from selected fish species and the resulting products. To this end, a systematic literature review was conducted using the partial application of the PRISMA methodology, utilizing scientific databases and selection criteria to identify relevant studies. The species and anatomical parts used, such as skin, viscera, heads, bones, scales, cartilage, and muscle, were analyzed, in addition to the technologies, unit operations, processing conditions, and value-added products. Among the operations identified were washing, cutting, hydrolysis, extraction, separation, filtration, purification, concentration, and freeze-drying. Finally, the information was organized into a raw material-technology-product technology matrix, allowing for the establishment and comparison of technological transformation pathways. Furthermore, the Technology Readiness Level (TRL) was incorporated to evaluate the development and scalability potential of the alternatives, facilitating the identification of processes with agro-industrial applications for the comprehensive valorization of fishery resources.

Keywords

agro-industrial development; technological routes; fish; level of technological maturity

Direcciones Autor para la correspondencia Cómo citar

¹Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador.. Pastaza, Ecuador. Email: jf.beniteza@uea.edu.ec, ampe-rez@uea.edu.ec,
Jonathan Fernando Benitez Andrade. Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador.. Pastaza, Ecuador. Email: jf.beniteza@uea.edu.ec
BENITEZ ANDRADE, Jonathan Fernando, PÉREZ MARTÍNEZ, Amaury and , 2026. **Matriz de tecnologías y productos obtenidos a partir de peces con fines agroindustriales**. PrePrint UEA. Vol. AGI2626. p. ep02-1229. <https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vAGI2626ep02-1229>

Editores Académicos

Billy Daniel Coronel Espinoza

Editorial

Editorial de la Universidad Estatal
Amazónica 2026

Copyright

Derechos de autor 2026 | PrePrint UEA. 

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.

Los autores del artículo autorizan a la RACYT a que este artículo sea compartido bajo las condiciones de la Licencia Creative Commons 4.0 (CC-BY 4.0).

1. Introducción

El pescado constituye una importante fuente de materias primas de interés agroindustrial, con potencial para ser transformados en productos de valor agregado, no solo por la diversidad de sus componentes si no, que pueden ser utilizados mediante diferentes tecnologías de transformación, contribuyendo a la mejora de las diferentes partes del pescado mediante la identificación de tecnologías para su proceso

y sus posibles productos agroindustriales (Miranda et al. 2025).

Los subproductos del pescado contienen componentes como proteínas, colágeno, péptidos bioactivos, lípidos, minerales y enzimas, que pueden recuperarse mediante diferentes tecnologías de transformación, es posible obtener productos como hidrolizados proteicos, péptidos bioactivos, colágeno, gelatina, enzimas, suplementos, alimentos funcionales, biomateriales y productos farmacéuticos. De esta manera, la

revalorización integral del pescado permite reducir la generación de residuos, incrementar el valor agregado de los subproductos y diversificar sus aplicaciones agroindustriales, favoreciendo un uso más eficiente y sostenible de los recursos pesqueros. Esta oportunidad ha impulsado el desarrollo de investigaciones enfocadas en establecer tecnologías de extracción, transformación, separación y purificación que permitan obtener productos con características funcionales y biológicas de interés (Meriç Turgut et al. 2026).

Los estudios realizados han demostrado que diferentes partes del pescado, como la piel, cabeza, vísceras, músculo, sangre, huesos, cartílago y escamas, pueden constituir fuentes importantes de compuestos de interés agroindustrial. Entre los procesos investigados se encuentran la extracción química y enzimática, centrifugación, filtración, ultrafiltración, precipitación, diálisis, cromatografía, concentración y liofilización, cuya aplicación depende de la naturaleza de la materia prima y del producto que se desea obtener (Usman et al. 2025).

A pesar del avance de estas investigaciones, la información disponible se encuentra distribuida entre diferentes especies de peces, partes anatómicas, tecnologías, condiciones de procesamiento y productos finales. Esta dispersión dificulta establecer una relación integrada entre la materia prima utilizada, la tecnología aplicada, las operaciones unitarias involucradas y el producto de valor agregado obtenido. Por ello, resulta necesario sistematizar la información científica disponible para facilitar la comparación de las diferentes alternativas tecnológicas de valorización de los subproductos pesqueros y determinar las principales rutas de transformación con potencial de aplicación agroindustrial (Hao et al. 2019).

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es desarrollar una matriz tecnológica las tecnologías empleadas para el aprovechamiento de subproductos de las especies de peces seleccionadas y los productos de valor agregado obtenidos a partir de estos, mediante la identificación de las materias primas, tecnologías de transformación, operaciones unitarias y principales condiciones de procesamiento reportadas en la literatura científica, con el propósito de establecer una matriz tecnológica de aprovechamiento de subproductos pesqueros con potencial de aplicación agroindustrial.

2. Metodología

Con el propósito de identificar, organizar y seleccionar la información científica relevante sobre las tecnologías de transformación y los productos derivados del procesamiento de pescados, la recuperación de información de este trabajo se basó en la aplicación parcial de la metodología PRISMA (Page et al. 2021). En este análisis de investigación mediante el diagrama PRISMA (**Figura 1**) no fueron abordados todos los pasos de sistematización de estudios mediante bases de datos y registros. Las actividades llevadas a cabo facilitaron la incorporación de los estudios más relevantes relacionados con el asunto en análisis.

Posteriormente, para cada producto identificado se determinó el Nivel de Madurez Tecnológica (TRL), el cual constituye un sistema utilizado para evaluar el grado de desarrollo de

una tecnología y su potencial de escalado industrial (Catherine G. Manning 2023). información, se elaboró una matriz tecnológica utilizando Microsoft Excel, centrada en las tecnologías específicas asociadas a cada producto. Además, se identificaron las operaciones más recurrentes en los procesos tecnológicos. Al definir las matrices tecnológicas se desarrollaron las rutas tecnológicas para transformar las materias primas a través de las tecnologías en diferentes productos. Para la construcción de las rutas se utilizó la herramienta en línea Lucidchart (Vinocunga-Pillajo et al. 2025).

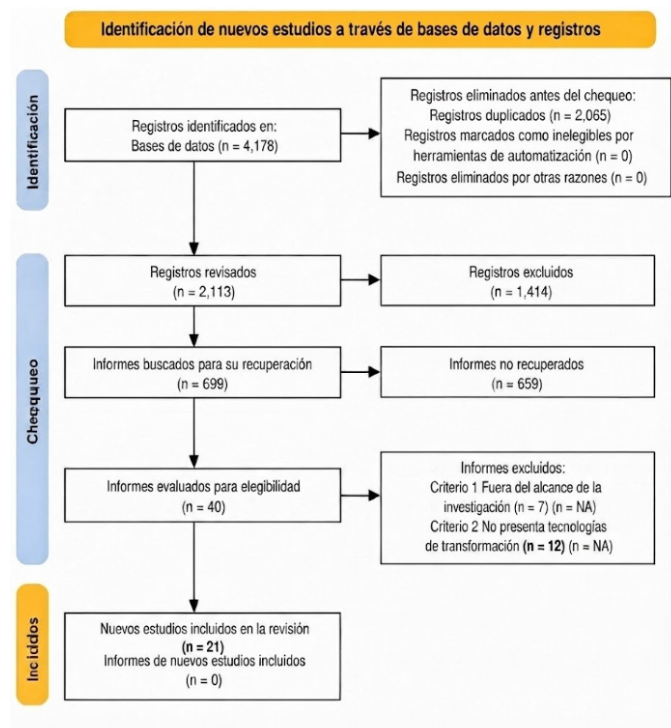


Figura 1 | Diagrama de PRISMA. Adaptado de Page et al. (2021)

La **Tabla 1** muestra los métodos correspondientes para la verificación de metodología PRISMA, abarcando los criterios de elegibilidad, fuentes de información, estrategia de búsqueda, proceso de selección de estudios, extracción de datos y la lista de datos organizada cronológicamente (Page et al. 2021).

3. Resultados y discusión

3.1. Comportamiento de las publicaciones sobre las materias primas, tecnologías y productos a partir de diferentes tipos de pescados.

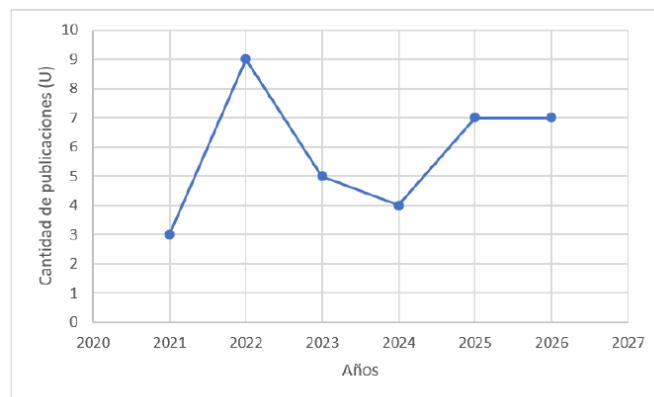
En la **Figura 2A** se presenta la evolución de las publicaciones científicas relacionadas con las tecnologías y productos derivados de los pescados durante el período analizado. Los resultados evidencian un comportamiento dinámico en la producción científica, caracterizado por variaciones en el número de publicaciones entre los diferentes años. Se observa un incremento que alcanza su punto más alto en el 2022, seguido de una disminución en los años posteriores. Esta tendencia sugiere un interés creciente de la comunidad científica por el aprovechamiento de los pescados, impulsando por la búsqueda de tecnologías innovadoras y el desarrollo de productos con mayor valor agregado que contribuyan al uso integral y sostenible de esta materia prima.

Tabla 1 | Métodos para la verificación PRISMA. Adaptado de (Page et al. 2021)

Métodos	Descripción
Criterios de elegibilidad.	Para la recuperación sistemática de literatura se aplicaron los criterios de elegibilidad, incluyendo artículos científicos que estén dentro de los 6 años de publicación, que estén relacionados al tema de procesamiento y productos pesqueros, ser artículos de revisión o investigación, artículos de acceso abierto o gratis; y excluyendo artículos que excedan los 6 años de publicación, ser artículos de paga, tesis, informes de caso, u otros, que no se encuentre información del tema, no estén relacionados al tema por su título o resumen, o archivos duplicados.
Fuentes de información.	La recopilación de información tomó inicio con una búsqueda bibliográfica en las bases de datos <i>Scopus</i> y <i>Web of Science ScienceDirect</i> , <i>SciELO</i> , <i>Wiley Online Library</i> . Con la combinación de palabras claves en inglés, se recopilaron inicialmente 4178 documentos, ampliando así la recopilación de la información.
Estrategia de búsqueda.	Para optimizar la búsqueda bibliográfica, se utilizaron palabras clave específicas en inglés. Además, se incorporó el nombre científico de la especie, con el propósito de ampliar la búsqueda y obtener información más completa y relevante. La estrategia de búsqueda se inició con términos generales como “pescado, tecnología y productos” en ingles, “ <i>fish + technologies + products</i> ”. “ <i>Thunnus albacares</i> ” AND “ <i>Food Industry</i> ”, “ <i>Thunnus albacares</i> ” AND “ <i>Pharmaceutical Industry</i> ”, “ <i>Katsuwonus pelamis</i> ” AND “ <i>Cosmetic Industry</i> ”, “ <i>Katsuwonus pelamis</i> ” AND “ <i>Food Industry</i> ”, “ <i>Carassius auratus</i> ” AND “ <i>Food Industry</i> ”, “ <i>Carassius auratus</i> ” AND “ <i>Agricultural Industry</i> ”, “ <i>Oncorhynchus mykiss</i> ” AND “ <i>Cosmetic Industry</i> ”, “ <i>Oncorhynchus mykiss</i> ” AND “ <i>Agricultural Industry</i> ”, “ <i>Oncorhynchus mykiss</i> ” AND “ <i>Food Industry</i> ”, “ <i>Cyprinus carpio</i> ” AND “ <i>Food Industry</i> ”, “ <i>Cyprinus carpio</i> ” AND “ <i>Pharmacological Industry</i> ”, “ <i>Cyprinus carpio</i> ” AND “ <i>Biotechnology Industry</i> ”, “ <i>Cyprinus carpio</i> ” AND “ <i>Nutraceutical Industry</i> ”, “ <i>Oreochromis niloticus</i> ” AND “ <i>Aquaculture Industry</i> ”, “ <i>Oreochromis niloticus</i> ” AND “ <i>Biomedical Industry</i> ”, “ <i>Oreochromis niloticus</i> ” AND “ <i>Animal Feed Industry</i> ”, “ <i>Oreochromis niloticus</i> ” AND “ <i>Food Industry</i> ”, “ <i>Colossoma macropomum</i> ” AND “ <i>Biotechnology Industry</i> ”, “ <i>Colossoma macropomum</i> ” AND “ <i>Food Industry</i> ”, y “ <i>Piaractus brachipomus</i> ” AND “ <i>Chemical Industry</i> ”. Estas combinaciones permitieron recuperar información específica sobre tecnologías, procesos y productos derivados de diferentes especies de pescados.
Proceso de selección de estudio.	Se aplicó criterios para filtrar todos los artículos, garantizando así que únicamente se consideren aquellos documentos que describan de manera específica las materias primas, tecnologías y productos obtenidos a base de peces.
Proceso de extracción de datos	Para garantizar que la información recopilada fuera pertinente y confiable, se realizó una revisión detallada de publicaciones científicas relacionadas con el aprovechamiento de los recursos pesqueros. El análisis se enfocó en identificar las diferentes partes del pescado utilizadas como materia prima, como piel, escamas, vísceras, huesos, cabezas y cartilago; así como las tecnologías empleadas para su transformación y los productos obtenidos mediante estos procesos. Esta recopilación permitió organizar la información de manera uniforme y facilitar la elaboración del estudio.
Lista de datos	Los datos recopilados fueron sistematizados y organizados cronológicamente, considerando la cantidad, disponibilidad y pertinencia de la información encontrada en las fuentes científicas seleccionadas.

La **Figura 2B** presenta la distribución geográfica de las publicaciones científicas relacionadas con las tecnologías y productos derivados de pescados con fines agroindustriales. El mapa evidencia que China concentra el mayor número de investigaciones, representado por la tonalidad más intensa (alcanzando una frecuencia de hasta 32 publicaciones). Asimismo, otros países registran una participación menor en la producción científica, reflejada mediante colores de menor intensidad. En contraste, la mayor parte de las naciones aparecen en color gris, lo que indica una escasa o nula presencia de publicaciones dentro del periodo analizado. En conjunto, estos resultados muestran que la investigación sobre aprovechamiento tecnológico y el desarrollo de productos derivados de pescados se encuentra concentrada en un número limitado de países, evidenciando oportunidades para ampliar la producción científica en otras regiones.

El análisis de las tendencias de búsqueda (**Figura 2A**) resalta una diferencia significativa del interés por los términos estudiados. El termino en ingles muestra un amplio crecimiento en el año 2026 y seguido de una disminución en los años posteriores. Por su parte la **Figura 2B**, evidencia que las investigaciones en ingles se centran en países asiáticos y americanos, siendo poco los países europeos, en donde el pescado tiene más relevancia socioeconómica.



(A)



(B)

Figura 2 | Comportamiento de las publicaciones. (A) Por años. (B) Distribución geográfica

El análisis de las búsquedas por países evidencia una distribución geográfica diferenciada de las investigaciones relacionadas con las tecnologías de transformación y los productos derivados de pescados. Se observa una mayor concentración de estudios en distintos países Asia, América y Europa, destacándose aquellos territorios con mayor producción científica sobre el aprovechamiento y la industrialización pesquera. En cuanto al idioma de publicación, la totalidad de los artículos seleccionados se encuentra redactada en inglés, lo que refleja su consolidación como el principal medio de difusión de la literatura científica analizada en esta área. En conjunto, esta distribución muestra que el desarrollo de investigación muestra que el desarrollo de investigaciones sobre el sector pesquero cuenta con una participación internacional, aunque con un foco de atención más marcado en determinados países y regiones.

3.2. Comportamiento de las publicaciones sobre las materias primas, tecnologías y productos a partir de diferentes tipos de pescados.

La **Tabla 2** sistematiza las operaciones unitarias y condiciones de proceso para la transformación de 21 materias primas agrupadas, las cuales representan un total de 21 especies de peces diferentes, distribuidas en la matriz en 21 productos finales. Las operaciones varían desde lavado, corte, hidrólisis enzimática, purificación, ultra purificación, concentración y liofilización. La diversidad de rutas tecnológicas refleja la versatilidad de los subproductos del pescado como materias primas.

Tecnología para la obtención de la gelatina de piel de trucha arcoíris

La obtención de gelatina a partir de piel de trucha arcoíris comienza con el lavado de la piel con agua fría para retirar restos de sangre, grasa e impurezas, la piel se corta en trozos de aproximadamente 0,5–1 cm y se somete a un tratamiento alcalino con NaOH 0,1 M durante 1 hora a temperatura ambiente, utilizando una relación piel: solución de 1:10 (p/v) y agitación. Después, se realizan lavados con agua hasta alcanzar un pH neutro. A continuación, la piel se trata con ácido acético en una concentración de 0,05 M–0,1 M durante 1 hora a una temperatura de 20–25 °C y posteriormente se lava con agua destilada. Para obtener la gelatina, el material tratado se coloca en agua destilada y se mantiene entre 45 °C–50 °C durante 6 horas–12 horas con agitación. Finalmente, el concentrado se somete a liofilización (Usman et al. 2025).

Según Vázquez et al. (2022) las cabezas de atún aleta amarilla se procesan mediante un modelo de biorrefinería integral utilizando hidrólisis enzimática, lo que permite fraccionar la biomasa en tres corrientes de alto valor: una fracción lipídica rica en ácidos grasos Omega-3, una fracción mineral útil para la obtención de hidroxipatita, y péptidos solubles de bajo peso molecular (1 400 Da–1,800 Da) empleados como peptonas biotecnológicas en medios de cultivo microbianos.

Tecnología para la obtención de hidrolizados proteicos de pescado (FPH), aceite rico en omega3 (DHA), huesos con minerales y peptonas para medios de cultivos bacterianos

La tecnología para la obtención de hidrolizados proteicos

(FPH), aceite rico en omega-3 (DHA), fracciones óseas con minerales y peptonas inicia con el lavado de los subproductos pesqueros, su trituración (2–5 mm) y mezcla con agua (1:1 p/v), seguido de una hidrólisis enzimática con Alcalasa o papaína durante 2–4 horas e inactivación térmica a 90 °C–95 °C por 10 minutos–15 minutos; posteriormente, la mezcla se centrifuga para separar la fase oleosa —que se decanta, filtra y almacena bajo nitrógeno a 4 °C como aceite ricos en DHA—, la fase proteica acuosa —que se filtra, concentra a 40 °C–50 °C y seca para obtener el FPH, o se ajusta a pH 7,0 y esteriliza a 121 °C por 15 minutos para obtener peptonas bacterianas— y la fracción sólida, la cual se lava, seca a 60 °C–70 °C y muele para obtener minerales óseos (Vázquez et al. 2022).

Según Hao et al. (2019), aunque ambos comparten la misma materia prima piel de tilapia del Nilo y el mismo método de extracción de colágeno, orientan la aplicación hacia la industria de envases activos para alimentos mezclando el colágeno con zeína y ácido gálico (0,5–2 % p/p) para fabricar películas nanofibras mediante electro hilado, con propiedades antioxidantes y antimicrobianas para la conservación de alimentos.

Tecnología para la obtención de sulfato de condroitina (Chondroitin Sulphate, CS) de alta pureza para uso biomédico y nutracéutico

La obtención inicia con la extracción del compuesto mediante un tratamiento con NaOH 0,05 M durante 12 horas, seguido de una hidrólisis química o enzimática utilizando NaCl al 10% durante 24 horas, con el propósito de favorecer la liberación del sulfato de condroitina presente en la materia prima. Posteriormente, se realiza la purificación mediante HCl 0,4 M durante 90 minutos y se procede a la precipitación empleando alcohol butílico al 10% durante 36 horas, permitiendo concentrar y recuperar el compuesto de interés. A continuación, se aplica una etapa de ultrafiltración mediante extracción con ácido acético 0,5 M durante 72 horas a 20 °C, con el objetivo de separar impurezas y compuestos de menor tamaño molecular. Finalmente, se efectúa la diafiltración mediante centrifugación a 11 000 rpm durante 45 minutos a 4 °C, obteniéndose sulfato de condroitina con un mayor grado de pureza y características adecuadas para su utilización en productos biomédicos y nutracéuticos.

Según, Nguyen et al. (2021) emplearon piel de atún aleta amarilla para obtener un hidrolizado de colágeno y posteriormente incorporaron una etapa de ultrafiltración como operación de purificación y fraccionamiento. Esta separación permitió obtener diferentes fracciones peptídicas, las cuales fueron evaluadas según sus propiedades funcionales. De esta manera, mientras se enfocaron principalmente en la obtención y caracterización funcional del hidrolizado proteico, orientaron el proceso hacia la separación y purificación de fracciones peptídicas de colágeno mediante ultrafiltración, con potencial aplicación como ingredientes funcionales en la industria alimentaria y nutracéutica.

Tecnología para la obtención de colágeno tipo 1 en la industria biomédica.

El proceso inicia con la preparación de las escamas, las cuales son sometidas a una relación sólido/agua de 1:10

y posteriormente a una etapa de desmineralización para eliminar principalmente las fracciones minerales presentes en la materia prima. Luego se realiza el tratamiento enzimático utilizando tripsina a pH 7,4 o pepsina a pH 2, bajo una temperatura de 37 °C y un tiempo de hidrólisis de 30 minutos–300 minutos, empleando una concentración enzimática de 0,5%–3%. Posteriormente, se efectúa el desengrasado para remover los componentes lipídicos que puedan interferir en la recuperación del producto. La actividad enzi-

mática se inactiva mediante calentamiento a 90 °C durante 10 minutos y la mezcla obtenida se somete a centrifugación a 8000 rpm durante 20 minutos para separar los residuos insolubles. A continuación, el extracto se somete a diálisis con el propósito de eliminar sales, enzimas residuales y compuestos de bajo peso molecular. Finalmente, el material purificado se congela y se somete a liofilización para retirar el agua y obtener el producto seco (Barai et al. 2025).

Tabla 2 | Materias Primas, Tecnologías y Productos que pueden obtener a partir de los pescados

Materia prima		Tecnología		Parámetros Operacionales	Producto	Industria	Referencias
Nombre del pescado	Parte del pescado	TRL	Operaciones unitarias		Productos obtenidos		
Trucha arcoíris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	Piel	4–5	Lavado	Lavado con agua fría para eliminar sangre, grasa e impurezas. Corte en trozos de 0,5–1 cm.	Gelatina de piel de trucha arcoíris	Industria alimentaria	(Usman et al. 2025)
			Pretratamiento alcalino	Inmersión en NaOH 0,1 M durante 1 h a temperatura ambiente, con relación piel:solución 1:10 (p/v). Lavado hasta alcanzar pH neutro.			
			Pretratamiento ácido	Tratamiento con ácido acético 0,05–0,1 M durante 1 h a 20–25 °C. Lavado posterior con agua destilada.			
			Extracción	Extracción en agua destilada a 45–50 °C durante 6–12 h con agitación suave.			
			Filtración	Filtración mediante tela o filtro para eliminar residuos sólidos.			
			Concentración	Evaporación al vacío a 40–50 °C para aumentar el contenido de sólidos.			
			Secado	Liofilización a –80 °C seguida de secado al vacío, o secado en estufa a 40–50 °C hasta peso constante.			
Atún de aleta amarilla (<i>Thunnus albacares</i>)	Cabezas	5	Lavado	Lavado de los subproductos (cabezas, vísceras, espinas y recortes), trituración a 2–5 mm y mezcla con agua en relación 1:1 (p/v).	Hidrolizados proteicos de pescado.	Industria alimentaria	(Vázquez et al. 2022)
			Hidrólisis enzimática	Adición de Alcalasa® o papaína (1–3 % p/p); 50–55 °C, pH 7,5–8,5, durante 2–4 h con agitación constante. Inactivación de la enzima a 90–95 °C durante 10–15 min.			
			Centrifugación	Centrifugación a 8 000–10 000 × g durante 15–20 min a 4–20 °C.			
			Centrifugación	Centrifugación a 8 000–10 000 × g durante 15–20 min a 4–20 °C.			
			Extracción del aceite	Separa y recuperar la fracción lipídica presentes en los tejidos del organismo del pescado			
			FPH	Operación de transformación bioquímica en la cual las proteínas presentes en la matriz de pescado son hidrolizadas mediante la acción controlada de enzimas proteolíticas,			
			Esterilización. Secado	Se esteriliza a 121 °C durante 15 min. Se seca por aspersión o liofilización.			
Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Cartilago	6–7	Lavado	Limpieza del bazo de atún con agua fría para eliminar sangre, impurezas y residuos antes de la extracción de tripsina.	Sulfato de condroitina	Farmacéutica y biomédica	(Saha et al. 2024)
			Extracción del aceite	NaOH 0,05 M durante 12 h			
			Hidrolisis enzimática	NaCl al 10 % durante 24 h			
			Purificación	HCl 0,4 M durante 90 min			
			Precipitación	Alcohol butílico al 10 % durante 36 h			
			Ultra purificación	extracción con ácido acético 0,5 M durante 72 h a 20 °C			
			Biofiltración.	4–25 °C 1–5 bar Membrana UF, 1–30 kDa 3–5 DV de agua			
Tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>)	Viseras	4–5	Lavado	Relación sólido/agua 1:10; pH 7,4 (tripsina) y 2 (pepsina)	Colágeno tipo I	Biomédica.	(Barai et al. 2025)
			Desmineralización	37 °C; tiempo de hidrólisis 30–300 min			

Atun barrilete (<i>Katsuwonus pelamis</i>)	Visceras	4	Desengrasado	Eliminación de la sangre residual del bazo mediante escurrido	Proteína hidrolizada	Industria alimentaria, nutracéutica y de suplementos funcionales.	(Kvangarsnes et al. 2023)
			Extracción ácida	Tratamiento del bazo con una solución ácida para favorecer la liberación y solubilización de la tripsina			
			Filtración	Concentración enzimática 0,5–3 %			
			Diálisis.	Inactivación a 90 °C durante 10 min			
			Centrifugación.	Centrifugación 8000 rpm durante 20 min.			
			Lavado	Relación sólido/agua 1:10			
			Corte	Reducción del bazo de atún en fragmentos pequeños para aumentar el área de contacto y facilitar la extracción de la tripsina.			
			Hidrolisis enzimática	Temperatura 50 °C (alcalasa) y 40 °C			
			Inactivación de la enzima	Tiempo 30–300 min;			
			Separación	Separación de la fracción líquida que contiene la tripsina de los residuos sólidos del tejido, facilitando las etapas posteriores			
Skipjack (<i>Katsuwonus pelamis</i>)	Visceras	4	Ultrafiltración	0,5–3 %; inactivación a 90 °C durante 10 min	Hidrolizado proteico	Industria alimentaria, nutracéutica y farmacéutica	(Farfán Flores et al. 2026)
			Concentración	Reducción del contenido de agua del hidrolizado para aumentar la concentración de los polipéptidos de hierro hemo y facilitar su posterior liofilización.			
			Liofilización	Eliminación del agua del extracto de tripsina			
			Lavado	Limpieza de los subproductos de trucha con agua para eliminar sangre			
			Corte	Fragmentación del pescado en trozos pequeños			
			Hidrólisis enzimática.	Degradación de las proteínas mediante enzimas proteolíticas para liberar péptidos			
			Homogenización	Mezcla y dispersión uniforme de la muestra para obtener una composición homogénea			
			Inactivación	Retención de la actividad de las enzimas mediante condiciones controladas de temperatura, evitando que la hidrólisis continúe.			
			Separación	Eliminación de los componentes insolubles del hidrolizado para recuperar la fracción líquida rica en péptidos.			
			Ultrafiltración	Fraccionamiento de los péptidos mediante membranas semipermeables según su tamaño molecular, permitiendo seleccionar fracciones con características de interés.			
			Concentración	Reducción del contenido de agua de la fracción peptídica para incrementar la concentración de los compuestos bioactivos.			
			Liofilización	Eliminación del agua mediante congelación y sublimación al vacío para obtener un hidrolizado peptídico seco y estable.			

Atún barrilete (<i>Katsuwonus pelamis</i>)	Visceras	4	Lavado	Limpieza de las vísceras de atún con agua para eliminar sangre, residuos y otras impurezas presentes en la materia prima.	Proteína hidrolizada	Industria alimentaria	(Kvangarsnes et al. 2023)
			Molienda	Reducción del tamaño de las vísceras mediante acción mecánica para aumentar el área de contacto y facilitar la hidrólisis de las proteínas.			
			Hidrólisis enzimática	Degradación de las proteínas de las vísceras mediante proteasas para producir péptidos de menor tamaño con potencial actividad antioxidante.			
			Inactivación	Detención de la actividad de las proteasas mediante tratamiento térmico, evitando que continúe la hidrólisis y permitiendo controlar el grado de hidrólisis.			
			Centrifugación	Separación de la fracción líquida del material insoluble mediante fuerza centrífuga, recuperando el hidrolizado rico en péptidos.			
			Concentración	Reducción del contenido de agua del hidrolizado para incrementar la concentración de los péptidos y facilitar su conservación.			
			Liofilización	Eliminación del agua mediante congelación y sublimación al vacío para obtener un hidrolizado proteico seco y estable.			
Trucha arcoíris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	Piel	4	Lavado	Sangre precalentada a 55 °C durante 45 min	Péptidos bioactivos	Industria alimentaria, nutracéutica, farmacéutica y cosmética	(Farfán Flores et al. 2026)
			Molienda	Reducción del tamaño de las partículas de la materia prima			
			Hidrólisis enzimática	Alcalase 1% (E/S)			
			Inactivación	Detención de la actividad enzimática mediante condiciones controladas			
			Separación	Aislamiento de la fracción de interés del resto de los componentes de la muestra,			
Atún barrilete (<i>Katsuwonus pelamis</i>)	Sangre	4	Ultrafiltración	Separación y concentración de proteínas o péptidos mediante una membrana semipermeable	Polipéptido de hierro hemo	Industria alimentaria (envases)	(Miranda et al. 2025)
			Liofilización	liofilización a –80 °C			
			Recolección	Obtención de la sangre de atún como materia prima			
			Filtración	Eliminación de partículas, coágulos y materiales sólidos presentes en la sangre para obtener una fracción más limpia.			
			Separación	División de las diferentes fracciones de la sangre para recuperar la fracción proteica de interés.			
			Hidrólisis enzimática	Degradación controlada de las proteínas mediante enzimas proteolíticas para generar péptidos y polipéptidos de menor tamaño.			
			Purificación	Eliminación de componentes no deseados y aislamiento de la fracción enriquecida en polipéptidos de hierro hemo.			
			Concentración	Reducción del contenido de agua de la fracción purificada para incrementar			

				Liofilización	la concentración del producto de interés. Eliminación del agua mediante congelación y sublimación al vacío para obtener un producto seco y estable.			
				Lavado	Solvente hidroalcohólico (50–70 % etanol), 40–60 °C, 1–3 h, agitación 200–300 rpm.			
				Corte	Filtración y evaporación al vacío a 40–50 °C para concentrar el extracto.			
				Hidrólisis enzimática	–40 a –80 °C durante 12–24 h.			
				Centrifugación	Etanol al 80%, relación masa: solvente 1:10 (w/v), a 25°C en agitación constante por 72 h			
				Filtración	Separación de partículas y materiales insolubles del hidrolizado			
				Ultrafiltración	Evaporador rotatorio a 38°C, presión de vacío reducida a 80 mbar para evaporar el etanol			
				Liofilización	Envase hermético, protegido de la luz y humedad, a 4 °C.			
				Lavado	Reducción del tejido sanguíneo o materia prima en fragmentos pequeños para facilitar el posterior tratamiento enzimático.			
				Molienda	Degradación de las proteínas sanguíneas mediante enzimas proteolíticas para liberar péptidos y polipéptidos que contienen hierro hemo.			
Atún de aleta amarilla (<i>Thunnus albacares</i>)	Músculo oscuro	4		Hidrólisis enzimática	Separación de las fracciones de la mezcla mediante fuerza centrífuga, permitiendo retirar materiales insolubles y recuperar la fracción líquida de interés.			Industria alimentaria, nutracéutica y de suplementos alimenticios. (Tansukkase m et al. 2023)
				Inactivación	Eliminación de partículas y residuos sólidos presentes en el hidrolizado para obtener una fracción más limpia.			
				Centrifugación	Separación de los componentes del hidrolizado mediante membranas semipermeables, permitiendo obtener una fracción enriquecida en polipéptidos de hierro hemo.			
				Concentración	Ultrafiltración o liofilización a –50 a –80 °C durante 24–48 h.			
				Liofilización	Envase hermético a 4 °C o en ambiente seco.			
				Lavado	Temperatura de recepción 0–4 °C.			
				Molienda	Tamaño de partícula 3–5 mm.			
				Hidrólisis enzimática	Relación 1:1 (agua: pescado, p/p).			
				Inactivación	50–55 °C, pH 6,5–7,0, 2–4 h, enzimas 1–2 % (p/p), agitación 150–300 rpm.			
				Centrifugación	Malla de 0,5–1 mm.			
Trucha arcoíris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	Piel	5		Filtración	90–95 °C durante 10–15 min.			Aprovechamiento de subproductos pesqueros mediante hidrólisis enzimática (Kvangarsnes et al. 2023)
				Concentración	Hasta 20–25 °C (o 4 °C antes de centrifugar).			
				Liofilización	8 000–10 000 g, 15–20 min, 4 °C.			
				Lavado	Limpieza de la materia prima de trucha para eliminar sangre, residuos			
	Musculo	4-5				Hidrolizado proteico de		Biomédica / Médica

			y otras impurezas antes del procesamiento.	trucha arcoíris		
		Corte	Fragmentación de la materia prima de trucha en piezas pequeñas para facilitar su procesamiento			
		Hidrólisis enzimática	Degradación de las proteínas de la trucha mediante enzimas proteolíticas			
		Inactivación	Detención de la actividad de las enzimas mediante un tratamiento controlado			
		Separación	Separación de la fracción soluble del material insoluble generado durante la hidrólisis			
		Ultrafiltración	Fraccionamiento del hidrolizado mediante membranas semipermeables para separar proteínas y péptidos según su tamaño molecular.			
		Concentración	Reducción del contenido de agua del hidrolizado para aumentar la concentración de los péptidos y proteínas de interés.			
		Liofilización	Eliminación del agua mediante congelación y sublimación al vacío, obteniendo un hidrolizado seco y estable para su conservación.			
Atún Albacora (<i>Thunnus alalunga</i>)	Piel	4 Lavado.	Limpieza del bazo de atún con agua fría para eliminar sangre,	Tripsina purificada	Farmacéutica / Cosmética	(Poonsin et al. 2017)
		Extracción	Tratamiento del bazo con una solución de extracción para liberar y solubilizar la tripsina presente en el tejido.			
		Hidrólisis enzimática	Acción de enzimas sobre las proteínas presentes en la muestra para facilitar la liberación de la tripsina y otros componentes proteicos.			
		Filtración	Eliminación de partículas y residuos insolubles del extracto para obtener una fracción líquida más limpia.			
		Ultrafiltración	Separación de proteínas y otros componentes mediante membranas semipermeables, aprovechando diferencias de tamaño molecular.			
		Cromatografía	Purificación y separación de la tripsina de otras proteínas mediante técnicas cromatográficas, obteniendo una fracción de mayor pureza.			
		Identificación	Determinación y caracterización de la tripsina purificada mediante sus propiedades bioquímicas y actividad enzimática.			
		Liofilización	Eliminación del agua mediante congelación y sublimación al vacío para obtener la tripsina purificada en forma seca y estable.			
Carpa Plateada (<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>)	Piel	3 Recolección	Obtención de la carpa plateada como materia prima para aprovechar sus proteínas miofibrilares.	Película activa biodegradable y resistente al agua	Empaque y embalaje de alimentos elaborados a partir de proteínas miofibrilares de carpa plateada	(Tovar et al. 2017)
		Lavado	Limpieza de la materia prima para eliminar sangre, residuos y otras impurezas superficiales.			
		Secado	Fragmentación del tejido muscular en piezas pequeñas para facilitar el procesamiento posterior.			
		Molienda	Trituración del músculo para reducir			

Salmón. (<i>Oncorhynchus</i> spp.)	Visceras	9	Extracción	el tamaño de partícula y facilitar la extracción de las proteínas miofibrilares.	Hidrolizado proteico de pescado.	Textil / Moda	(Rustad et al. 2011)
			Filtración	Liberación y recuperación de las proteínas miofibrilares mediante un medio de extracción adecuado.			
				Separación de los residuos sólidos de la fracción líquida que contiene las proteínas extraídas.			
			Lavado	Separación de los subproductos marinos para eliminar sangre			
			Corte	Fragmentación de los subproductos en piezas pequeñas para facilitar su procesamiento y aumentar el área de contacto.			
			Hidrólisis enzimática	Solución detergente o Na ₂ CO ₃ 0,5–2 %, 25–35 °C, 30–60 min.			
			Inactivación	Taninos vegetales 10–20 % o sales de cromo 6–8 %, pH 3,5–4,5, 25–30 °C, 12–24 h.			
			Separación	Separación de la fracción soluble del material insoluble generado durante la hidrólisis para recuperar el hidrolizado proteico.			
			Ultrafiltración	25–35 °C durante 24–48 h hasta alcanzar 10–15 % de humedad.			
Atún de aleta amarilla (<i>Thunnus albacares</i>)	Piel	9	Concentración	Reducción del contenido de agua de la fracción seleccionada para aumentar la concentración de proteínas y péptidos de interés.	Fracciones de hidrolizado de colágeno	Industria alimentaria	(Nguyen et al. 2021)
			Liofilización	4–10 °C, 30–60 min.			
			plastificación	50–55 °C, pH 7,0–8,0, 2–4 h, enzima 1–3 % (p/p), agitación 150–300 rpm.			
Pez cebra (<i>Danio rerio</i>)	Reemplazo de aceite de pescado en la dieta	4 - 5	evaporación.	90–95 °C durante 10–15 min.	Aceite de larvas de mosca soldado negra (BLO) como sustituto del aceite de pescado	Acuicultura / Alimentos balanceados (Aquafeed)	(Meriç Turgut et al. 2026)
			Descarne y limpieza	Membranas de 3–10 kDa, presión 2–5 bar.			
			Desengrasado	–50 a –80 °C, 24–48 h.			
			Curtido	60–70 °C durante 12–24 h, hasta < 10 % de humedad			
			Secado	Tamaño de partícula 0,5–1 mm.			
Atún aleta amarilla (<i>Katsuwonus pelamis</i>)	Huevas (Roe)	4 - 5	Pretratamiento (lavado y desengrasado)	Prensado mecánico o extracción con hexano a 40–60 °C durante 1–3 h.	Péptidos bioactivos	Alimentaria / Nutracéutica	(Perna et al. 2021)
			Hidrólisis enzimática	5 000–8 000 g, 10–15 min para eliminar impurezas.			
			Inactivación enzimática	Envases opacos, protegidos del oxígeno y la luz, a 4–10 °C.			
			Ultrafiltración.	20–25 °C, acoplamiento 30–60 min por aminoácido.			
			Lavado	Ácido tricloroacético (TFA) 95 %, 2–3 h, 20–25 °C.			
			Extracción	Recuperación de los lípidos presentes en las larvas de <i>Hermetia illucens</i> mediante un método de extracción controlado, obteniendo la fracción oleosa para su posterior filtración y purificación.			
			Hidrólisis enzimática	Cromatografía líquida (HPLC), gradiente de acetonitrilo/agua con 0,1 % TFA.			
			Filtración	Separación de las partículas sólidas y residuos de la fracción oleosa mediante			

Tilapia del Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Piel	Ultrafiltración. Cromatografía	un medio filtrante, obteniendo un aceite más limpio y libre de impurezas. –50 a –80 °C, 24–48 h. Envase hermético a –20 °C, protegido de la luz y la humedad.			
		4 Liofilización	Piel de tilapia pretratada con NaOH 0,1 M durante 24 h, seguida de extracción con ácido acético 0,5 M durante 48 h a 4 °C.	Película electrohilada activa de colágeno/zeína/ácido gálico (Col/ZN/GA) para envasado de alimentos.	Industria de envases activos para alimentos.	(Castro-Ferreira et al. 2022)
		Extracción	Disolver colágeno y zeína en una mezcla de ácido acético/etanol (70–90 %). Incorporar ácido gálico (GA) al 0,5–2 % (p/p) respecto a los biopolímeros. Agitación magnética durante 4–12 h a temperatura ambiente hasta obtener una solución homogénea.			
		Mezcla	Voltaje de 15–20 kV; caudal de alimentación 0,3–1,0 mL/h; distancia aguja-colector 10–15 cm; temperatura 20–25 °C; humedad relativa 30–50 %.			
		Homogenización	Secado a temperatura ambiente o en vacío durante 12–24 h para eliminar los solventes residuales. En algunos casos se aplica reticulación para mejorar la estabilidad en agua.			
		Electrohilada	Evaluación del diámetro de fibra (SEM), resistencia mecánica, actividad antioxidante (DPPH o ABTS) y actividad antimicrobiana frente a bacterias como <i>Escherichia coli</i> y <i>Staphylococcus aureus</i> .			
		4 Secado	Lavado, eliminación de escamas, grasa y tejido muscular. Corte en fragmentos de 0,5–1 cm. Conservación a 4 °C.	Colágeno tipo I	Industria biomédica.	(Gallo et al. 2022)
		Lavado	Tratamiento con NaOH 0,1 M durante 24 h a 4 °C, cambiando la solución cada 8 h para eliminar proteínas no colagénicas.			
		Desangrado	Inmersión en ácido acético 0,5 M durante 48 h a 4 °C con agitación continua.			
		Desmineralización	Filtración y precipitación con NaCl (2,0–2,6 M), seguida de centrifugación a 10 000 × g durante 20–30 min.			
		Extracción	Diálisis frente a ácido acético 0,1 M y posteriormente agua destilada durante 48–72 h a 4 °C, renovando el medio periódicamente.			
		Filtración	Congelación a –80 °C y secado por liofilización durante 24–48 h.			
		Diálisis	Disolver el colágeno al 1–2 % (p/v) en ácido acético 0,5 M. Verter la solución en moldes y secar a 20–25 °C durante 24–48 h.			

En contraste, (Rustad et al. 2011) presentan un enfoque tecnológico más amplio para el aprovechamiento de subproductos marinos, considerando operaciones como extracción, hidrólisis, separación, filtración y purificación para la recuperación de diferentes fracciones de interés, entre ellas proteínas, hidrolizados proteicos, aceites ricos en ácidos grasos omega-3, colágeno, gelatina y minerales. Por tanto, representa una ruta de valorización selectiva y orientada a la obtención de un producto funcional y específico.

Tecnología para la obtención de proteína hidrolizada rica en péptidos bioactivos con actividad antioxidante, destinada al desarrollo de alimentos funcionales y suplementos

El proceso inicia con la preparación de la muestra utilizando una relación sólida/agua de 1:10, seguida de una etapa de desgrasado para eliminar la fracción lipídica presente en la materia prima. Posteriormente, se realiza la extracción de proteínas bajo condiciones controladas de pH 8 utilizando Alcalasa y pH 7,4 con pancreatina, manteniendo temperatu-

ras de 50 °C y 40 °C, respectivamente. La fracción proteica obtenida se somete a hidrólisis enzimática empleando pepsina y tripsina, con tiempos de reacción de 30–300 minutos y concentraciones enzimáticas de 0,5–3 %. Finalizada la hidrólisis, las enzimas se inactivan mediante calentamiento a 90 °C durante 10 minutos. Luego, la mezcla se centrifuga a 8000 rpm durante 20 minutos para separar los residuos insolubles y recuperar la fracción soluble rica en péptidos. Finalmente, el hidrolizado se somete a liofilización para obtener un producto seco y estable, que posteriormente puede ser evaluado mediante ensayos de actividad antioxidante para determinar su potencial como ingrediente en alimentos funcionales y suplementos (Perna et al. 2021).

Según, Poonsin et al. (2017) desarrollaron un proceso dirigido a la recuperación de tripsina a partir del bazo de atún albacora, empleando operaciones de extracción, separación y purificación de la enzima hasta obtener una fracción enzimática caracterizada bioquímica y funcionalmente. Por tanto, considera la enzima tripsina como el producto objetivo del proceso. En este sentido, ambas rutas presentan un

enfoque de valorización biotecnológica de subproductos pesqueros, pero difieren en su finalidad producción de péptidos bioactivos frente a recuperación de enzimas proteolíticas

Tecnología para la obtención de hidrolizado proteico de vísceras encapsulado en nanoniosomas conactividad antioxidante y anticancerígena

El proceso inicia con la hidrólisis enzimática de las vísceras a 50 °C –55 °C y pH 8,0, utilizando una concentración de enzima de 1%–3% (p/p) durante 2 horas –4 horas, con agitación de 150–300 rpm. Finalizada la hidrólisis, se realiza la inactivación enzimática a 90–95 °C durante 10–15 minutos y posteriormente se centrifuga a 8000 g–10 000 g durante 15 minutos–20 minutos a 4 °C para separar los componentes insolubles. La fracción obtenida se somete a una centrifugación de aclaramiento a 4000 rpm durante 10 minutos a 20 °C. Finalmente, el hidrolizado proteico se incorpora en nanoniosomas y se aplica sonicación durante 5 minutos–10 minutos, obteniendo estructuras de aproximadamente 100 nm–200 nm que permiten proteger los péptidos bioactivos y favorecer su liberación controlada (Farfán Flores et al. 2026).

Según, Kaveh (2024) desarrollaron un proceso enfocado en la optimización de las condiciones de hidrólisis de las vísceras de atún de aleta amarilla (*Katsuwonus pelamis*), evaluando el efecto del tipo de proteasa y de variables del proceso sobre el grado de hidrólisis y las propiedades antioxidantes del hidrolizado.

Tecnología para la obtención de Proteína hidrolizada rica en péptidos bioactivos antioxidantes obtenida mediante alcalasa o pancreatina, con mayor actividad antioxidante usando alcalasa.

El proceso inicia con la preparación de la muestra utilizando una relación sólida/agua de 1:10, seguida del desgrasado para eliminar la fracción lipídica. Posteriormente, se realiza la extracción de proteínas empleando Alcalasa a pH 8 y 50 °C, o pancreatina a pH 7,4 y 40 °C. La proteína obtenida se somete a hidrólisis enzimática durante 30 minutos–300 minutos, utilizando una concentración de enzima de 0,5%–3%. Luego, se inactivan las enzimas a 90 °C durante 10 minutos y la mezcla se centrifuga a 8000 rpm durante 20 minutos para separar los componentes insolubles. Finalmente, el hidrolizado se somete a liofilización y se evalúa su actividad antioxidante, permitiendo determinar la capacidad de los péptidos obtenidos. Los hidrolizados tratados con Alcalasa presentan una mayor actividad antioxidante en comparación con los obtenidos mediante pancreatina (Miranda et al. 2025).

Según, Tansukkasem et al. (2023) desarrollaron una ruta tecnológica específica para la obtención de un polipéptido de hierro hemo, utilizando hidrólisis enzimática para transformar y recuperar la fracción proteica. Por tanto, aunque ambos procesos emplean la hidrólisis enzimática como operación fundamental para la valorización de subproductos pesqueros, la otra tecnología busca producir un polipéptido de hierro hemo destinado potencialmente a la formulación de suplementos alimenticios.

Tecnología para la obtención de Péptidos bioactivos multifuncionales con actividad antioxidante, antihi-

pertensiva, antimicrobiana, antiinflamatoria y anti-diabética

El proceso inicia con el precalentamiento de la sangre a 55 °C durante 45 minutos, seguido del ajuste del pH a 8,5 para favorecer la hidrólisis enzimática. Posteriormente, se incorpora Alcalase® en una concentración de 1% (E/S), permitiendo la generación de péptidos bioactivos. El hidrolizado obtenido se somete a ultrafiltración utilizando una membrana de corte molecular inferior a 3 kDa, con el propósito de separar y concentrar los péptidos de menor tamaño. Finalmente, la fracción seleccionada se congela a –80 °C y se liofiliza durante 72 horas, seguida de un secado por aspersión para obtener un producto estable y de fácil incorporación en diferentes formulaciones. Los péptidos obtenidos presentan potencial actividad antioxidante, antihipertensiva, antimicrobiana, antiinflamatoria y antidiabética (Farfán Flores et al. 2026).

Según Gallo et al. (2022) se desarrolló una ruta tecnológica orientada a la extracción de colágeno tipo I a partir de piel de tilapia, seguida de procesos de purificación, caracterización estructural y evaluación de su cito compatibilidad. Por tanto, aunque el estudio valoriza un subproducto pesquero mediante la recuperación de una proteína de interés, se enfoca específicamente en la extracción y conservación del colágeno tipo I, evaluando su potencial de aplicación en el desarrollo de biomateriales y aplicaciones biomédicas.

Tecnología para la obtención de polipéptido de hierro hemo (HIP) obtenido de sangre de atún con alta solubilidad y potencial como suplemento de hierro para alimentos funcionales

El proceso inicia con la preparación de la matriz biopolimérica mediante su disolución a 60–80 °C durante 30 minutos –60 minutos, con agitación de 300 rpm –500 rpm. Posteriormente, se incorpora la nanocarga mediante sonicación o agitación durante 20 minutos–30 minutos para lograr una dispersión homogénea. Luego, se adiciona el refuerzo natural y se mezcla a 25 °C–40 °C durante 15 minutos–30 minutos, manteniendo una agitación de 300 rpm–500 rpm. La mezcla obtenida se vierte en moldes y se eliminan las burbujas mediante vibración o aplicación de vacío. Finalmente, se realiza el secado a 50 °C–70 °C durante 12 horas–24 horas y el curado durante 24 horas –48 horas, obteniéndose un bionanocompuesto con el polipéptido de hierro hemo incorporado, con alta solubilidad y potencial aplicación como suplemento de hierro en alimentos funcionales (Miranda et al. 2025).

Según, Meriç Turgut et al. (2026) desarrollaron películas activas de empaque alimentario mediante la combinación de colágeno extraído de piel de tilapia, zeína y ácido gálico, utilizando electrohilado para generar una estructura fibrosa con propiedades funcionales. Por tanto, ambos procesos comparten el empleo de matrices biopoliméricas y la incorporación de componentes funcionales para generar materiales con aplicaciones alimentarias, pero difieren en la tecnología de conformado y en el propósito del componente activo

Tecnología para la obtención de polipéptido de hierro hemo (HIP) con alta biodisponibilidad para suplementos alimenticios

El proceso inicia con la extracción de compuestos bioactivos utilizando un solvente hidroalcohólico de 50%–70% de etanol, a 40 °C–60 °C durante 1 hora–3 horas y con agitación de 200 rpm–300 rpm. Posteriormente, el extracto se filtra y concentra mediante evaporación al vacío a 40 °C–50 °C. Luego, se realiza una maceración hidroalcohólica con etanol al 80%, en una relación masa:solvente de 1:10 (w/v), a 25 °C durante 72 horas con agitación constante. El extracto obtenido se congela a –40 °C a –80 °C durante 12–24 horas y posteriormente se somete a liofilización a una presión de 0,05 mbar –0,2 mbar, con temperatura del condensador de –50 °C a –80 °C durante 24–48 horas. Finalmente, se concentra mediante evaporador rotatorio a 38 °C y 80 mbar, se envasa herméticamente y se almacena protegido de la luz y la humedad a 4 °C, obteniéndose un producto con potencial para su uso en suplementos alimenticios (Tansukkasem et al. 2023).

Según, Usman et al. (2025) desarrollaron una tecnología dirigida a la obtención de gelatina a partir de piel de trucha arcoíris, mediante etapas de pretratamiento, extracción de la fracción colagénica, que se enfocan en la transformación de la matriz colagénica de la piel de trucha en gelatina, un ingrediente proteico funcional recuperación y secado, seguida de la caracterización de sus propiedades fisicoquímicas y funcionales.

Tecnología para la obtención de hidrolizado proteico de pescado (Fish Protein Hydrolysate, FPH)

El proceso inicia con la recepción del pescado a una temperatura de 0 °C–4 °C para conservar la calidad de la materia prima, seguido del triturado hasta obtener partículas de 3 mm –5 mm y la incorporación de agua en una relación 1:1 (agua, p/p). Posteriormente, se realiza la hidrólisis enzimática utilizando papaína y bromelina a 50 °C–55 °C, pH 6,5–7,0, durante 2–4 horas, con una concentración enzimática de 1%–2% (p/p) y agitación de 150 rpm –300 rpm, favoreciendo la ruptura de las proteínas y la formación de péptidos solubles. La mezcla se filtra mediante una malla de 0,5 mm–1 mm para retirar huesos y partículas de mayor tamaño, y luego se inactivan las enzimas mediante calentamiento a 90 °C–95 °C durante 10 minutos –15 minutos. A continuación, el hidrolizado se enfría hasta 20 °C–25 °C o hasta 4 °C antes de la centrifugación, realizada a 8000–10 000 × g durante 15 minutos–20 minutos. Después, se recupera el sobrenadante correspondiente a la fracción proteica soluble y, cuando el producto se encuentra seco, se realiza la molienda hasta alcanzar un tamaño de partícula de 100 µm –300 µm. Finalmente, el hidrolizado se envasa al vacío con un nivel de 90%–99% y se almacena a 4 °C o a temperatura ambiente cuando se encuentra completamente seco, obteniendo un producto proteico estable y de fácil aprovechamiento (Tansukkasem et al. 2023).

Según, Poonsin et al. (2017) representa una ruta de recuperación y purificación de una enzima proteolítica, evidenciando dos estrategias diferentes para la valorización biotecnológica de tejidos y subproductos pesqueros. En este caso, la hidrólisis no constituye el objetivo de transformación de la materia prima, sino que la tripsina es la biomolécula objetivo que debe ser recuperada y purificada.

Tecnología de la obtención de hidrolizado proteico de

trucha arcoíris.

Para obtener el hidrolizado proteico de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), la materia prima se prepara mediante trituración y homogeneización para facilitar la acción de las enzimas sobre las proteínas. Posteriormente, se realiza una hidrólisis enzimática utilizando una proteasa comercial, bajo condiciones controladas de pH, temperatura y agitación, permitiendo la ruptura de las proteínas en péptidos de menor peso molecular con propiedades funcionales mejoradas. El proceso se mantiene hasta alcanzar el grado de hidrólisis deseado y, una vez finalizado, las enzimas se inactivan mediante un tratamiento térmico para detener la reacción y preservar la calidad del hidrolizado.

Finalizada la hidrólisis, la mezcla se somete a centrifugación para separar las fracciones insolubles del hidrolizado soluble. Posteriormente, el sobrenadante se filtra y se seca para obtener un hidrolizado proteico en polvo, favoreciendo su estabilidad durante el almacenamiento y facilitando su incorporación como ingrediente en diferentes productos alimenticios. Finalmente, el producto se envasa en condiciones que lo protejan de la humedad y la oxidación, conservando sus propiedades fisicoquímicas y funcionales hasta su utilización (Kvangarsnes et al. 2023).

Según, Miranda et al. (2025) desarrollaron un bionanocompuesto basado en una mezcla ternaria reforzada con celulosa bacteriana, donde las operaciones de formulación, dispersión, conformado y secado están dirigidas a la generación de un material con potencial aplicación como empaque alimentario.

Tecnología de para la obtención de tripsina purificada del bazo de atún albacora.

Para obtener la tripsina del bazo de atún albacora, el tejido se homogeniza en una solución amortiguadora fría con el fin de conservar la actividad de la enzima y facilitar su extracción. Posteriormente, la mezcla se centrifuga para separar los residuos sólidos del extracto enzimático. El sobrenadante obtenido se somete a diferentes etapas de purificación mediante técnicas cromatográficas, las cuales permiten aislar la tripsina y obtener una enzima con un alto grado de pureza y actividad biológica.

Una vez purificada, la tripsina se caracteriza mediante la evaluación de su actividad proteolítica, peso molecular, así como de las condiciones óptimas de pH y temperatura para su funcionamiento. Finalmente, la enzima purificada se almacena a baja temperatura para conservar su estabilidad y mantener sus propiedades, permitiendo su posterior aplicación en procesos biotecnológicos, alimentarios y de investigación (Poonsin et al. 2017).

En contraste, Tovar et al. (2017) emplearon proteínas miofibrilares de carpa plateada como materia prima para desarrollar una película biodegradable y resistente al agua, utilizando ácido tánico como agente modificador. Por tanto, corresponden a una ruta de transformación y conformado de proteínas en un biomaterial funcional.

Tecnología para la obtención de película activa biodegradable y resistente al agua elaborada a partir de proteínas miofibrilares de carpa plateada

Para elaborar la película activa biodegradable, las proteínas miofibrilares extraídas de la carpa plateada (*Hypophthalmichthys molitrix*) se dispersan en una solución acuosa y se mezclan con ácido tánico, compuesto que actúa como agente reticulante al favorecer la formación de enlaces entre las cadenas proteicas. Esta interacción mejora la resistencia mecánica, disminuye la solubilidad en agua y aporta propiedades antioxidantes a la película. La mezcla se homogeniza bajo condiciones controladas para asegurar una distribución uniforme de todos los componentes y obtener una solución formadora de película estable (Tovar et al. 2017).

Posteriormente, la solución se vierte sobre moldes o superficies planas y se somete a un proceso de secado controlado hasta la formación de una película continua. Durante el secado, el agua se elimina gradualmente, permitiendo la consolidación de la red proteica y la interacción entre las proteínas y el ácido tánico. Finalmente, las películas obtenidas se acondicionan y almacenan en condiciones adecuadas de humedad y temperatura para conservar sus propiedades mecánicas, su resistencia al agua y su capacidad antioxidante, lo que favorece su aplicación como material biodegradable para el envasado activo de alimentos (Tovar et al. 2017).

Según, Saha et al. (2024) abordan la producción de sulfato de condroitina a partir de subproductos de origen animal, con énfasis en el desarrollo de procesos sostenibles, la calidad del producto y su adecuación a diferentes aplicaciones finales también, se enfocan en la extracción, purificación y control de calidad de un biopolímero bioactivo, buscando mejorar la sostenibilidad y eficiencia de su producción. Por consiguiente, ambas investigaciones utilizan estrategias de valorización de recursos biológicos, pero difieren tanto en las operaciones unitarias como en la naturaleza del producto final.

Tecnología para la obtención de hidrolizado proteico de pescado.

Para obtener hidrolizados proteicos a partir de subproductos marinos, como cabezas, pieles, espinas y vísceras de pescado, la materia prima se limpia y se reduce de tamaño para facilitar la acción de las enzimas. Posteriormente, se lleva a cabo una hidrólisis enzimática utilizando proteasas comerciales bajo condiciones controladas de pH, temperatura y tiempo, permitiendo la degradación de las proteínas en péptidos de menor peso molecular y aminoácidos con alto valor nutricional y funcional. Durante este proceso se mantiene una agitación constante para favorecer el contacto entre la enzima y el sustrato, obteniendo un mayor rendimiento de hidrólisis (Rustad et al. 2011).

Una vez finalizada la reacción, las enzimas se inactivan mediante tratamiento térmico y la mezcla se somete a centrifugación para separar el aceite, la fracción proteica soluble y los residuos sólidos, como huesos y escamas. El hidrolizado proteico recuperado puede concentrarse y secarse, generalmente mediante secado por aspersión o liofilización, para obtener un producto en polvo con mayor estabilidad durante el almacenamiento. Finalmente, el hidrolizado se envasa en condiciones adecuadas para conservar sus propiedades nutricionales y funcionales, pudiendo emplearse como ingrediente en alimentos, piensos y productos nutraceuticos (Rustad et al. 2011).

Según, Kaveh (2024) emplearon las vísceras de atún listado como fuente específica de proteínas para producir péptidos bioactivos mediante hidrólisis con pepsina y tripsina.

Por tanto, ambos procesos utilizan la hidrólisis enzimática como operación central de valorización proteica, pero difieren en el grado de especialización para desarrollar una ruta de fraccionamiento y purificación de péptidos bioactivos con una actividad funcional específica.

Tecnología para la obtención de fracciones de hidrolizado de colágeno de piel de atún de aleta amarilla purificadas por ultrafiltración.

Para obtener el hidrolizado de colágeno a partir de la piel de atún de aleta amarilla (*Thunnus albacares*), la materia prima se limpia y prepara para la extracción del colágeno. Posteriormente, el colágeno se somete a un proceso de hidrólisis enzimática utilizando una proteasa, bajo condiciones controladas de pH, temperatura y tiempo, con el propósito de romper las moléculas de colágeno y obtener péptidos de menor peso molecular. Durante la hidrólisis se mantiene una agitación constante para favorecer la acción de la enzima y mejorar el rendimiento del proceso (Nguyen et al. 2021).

Una vez obtenido el hidrolizado de colágeno, este se purifica mediante ultrafiltración utilizando membranas con diferentes pesos de corte molecular, permitiendo separar los péptidos según su tamaño. Las fracciones obtenidas presentan diferentes propiedades funcionales, como capacidad antioxidante y solubilidad, lo que amplía sus posibilidades de aplicación en alimentos funcionales, nutraceuticos y productos biomédicos. Finalmente, las fracciones purificadas se secan y almacenan en condiciones adecuadas para preservar su estabilidad y mantener sus propiedades bioactivas.

Según, detalla Farfán Flores et al. (2026) analizan estrategias para la obtención de péptidos bioactivos multifuncionales a partir de proteínas de subproductos de trucha arcoíris, considerando procesos de hidrólisis enzimática y fraccionamiento para generar péptidos con potencial actividad antioxidante, antihipertensiva, antimicrobiana, antiinflamatoria y antidiabética. Por tanto, ambos procesos utilizan la hidrólisis enzimática y el fraccionamiento molecular como herramientas de valorización proteica, pero el ultimo presenta una estrategia más amplia de obtención de péptidos multifuncionales a partir de proteínas de subproductos de trucha

Tecnología para la obtención de aceite de larvas de mosca soldado-negra.

Para obtener el aceite de larvas de la mosca soldado negra, las larvas se someten a un proceso de extracción acuosa en frío, una tecnología diseñada para recuperar la fracción lipídica sin emplear altas temperaturas ni solventes orgánicos. Este método permite conservar una mayor cantidad de compuestos bioactivos presentes en el aceite y reducir el impacto ambiental del proceso. Durante la extracción se mantienen condiciones controladas que favorecen la separación del aceite y minimizan la degradación de los lípidos, obteniendo un producto de alta calidad destinado a la alimentación acuícola.

Una vez finalizada la extracción, el aceite recuperado se

separa de la fase acuosa y de los residuos sólidos mediante operaciones de separación y purificación. Posteriormente, el aceite se almacena en condiciones adecuadas para evitar la oxidación y preservar su composición lipídica. Finalmente, el aceite obtenido se incorpora en formulaciones de alimento para peces como sustituto parcial o total del aceite de pescado, manteniendo un buen desempeño nutricional y favoreciendo una producción acuícola más sostenible.

Según el estudio de Meriç Turgut et al. (2026) plantea una estrategia comparativa de extracción y evalúa posteriormente las características nutricionales del aceite obtenido. Por tanto, ambas rutas se fundamentan en la extracción y recuperación de lípidos de la biomasa de insectos, particularmente como ingrediente alternativo a fuentes tradicionales de aceite en alimentación animal.

Tecnología para la obtención de péptidos bioactivos obtenidos de subproductos de cabeza de calamar seco.

Para obtener péptidos bioactivos a partir de los subproductos de cabeza de calamar seco, la materia prima se tritura y se prepara para facilitar la extracción de las proteínas. Posteriormente, se lleva a cabo una hidrólisis enzimática utilizando proteasas bajo condiciones controladas de pH, temperatura y tiempo, permitiendo la degradación de las proteínas en péptidos de menor peso molecular. Durante este proceso se mantiene una agitación constante para favorecer la acción de las enzimas y mejorar el rendimiento de la hidrólisis.

Una vez finalizada la hidrólisis, las enzimas se inactivan mediante tratamiento térmico y el hidrolizado obtenido se filtra para eliminar las partículas insolubles. Posteriormente, los péptidos se fraccionan mediante ultrafiltración y se purifican utilizando técnicas cromatográficas, con el fin de aislar las fracciones con mayor actividad biológica. Finalmente, los péptidos purificados se secan y almacenan en condiciones adecuadas para conservar su estabilidad y facilitar su aplicación como ingredientes funcionales en alimentos y productos nutraceuticos (Perna et al. 2021).

De manera similar, Perna et al. (2021) estudiaron la obtención de nuevos péptidos a partir de subproductos de cabeza de calamar seco generados durante el procesamiento, empleando procesos de hidrólisis y posterior fraccionamiento para identificar péptidos con características funcionales de interés, la tecnología descrita presenta una ruta más orientada hacia la purificación y recuperación de fracciones bioactivas mediante ultrafiltración y cromatografía, enfocándose en la obtención, identificación y evaluación de nuevos péptidos procedentes del subproducto de cabeza de calamar seco

Tecnología para la obtención de péptidos bioactivos de colágeno de piel de atún.

Para obtener péptidos bioactivos a partir del colágeno de piel de atún, la materia prima se limpia y se prepara para el proceso de hidrólisis. Posteriormente, el colágeno se mezcla con agua y se somete a hidrólisis utilizando agua subcrítica, una tecnología que emplea altas temperaturas y presiones para romper las moléculas de colágeno sin necesidad de utilizar enzimas ni solventes químicos. En este proceso se

trabaja con una elevada relación líquido sólido de 1:200 (p/v) y un tiempo de reacción de aproximadamente 5 minutos, condiciones que favorecen una hidrólisis rápida y eficiente, permitiendo obtener péptidos de bajo peso molecular con actividad biológica.

Una vez finalizada la hidrólisis, el sistema se enfría rápidamente para detener la reacción y preservar la estabilidad de los péptidos obtenidos. Posteriormente, el hidrolizado se filtra para eliminar las fracciones insolubles y se seca para obtener un producto en polvo con mayor estabilidad durante el almacenamiento. Los péptidos obtenidos presentan propiedades antioxidantes y un alto potencial de aplicación como ingredientes funcionales en alimentos, nutraceuticos y productos biomédicos.

Según, Vázquez et al. (2022) plantean un esquema de biorrefinería aplicado a residuos de cabeza de atún, mediante el cual se busca realizar un aprovechamiento integral de la materia prima para obtener simultáneamente hidrolizados proteicos, aceites de alta calidad, minerales y peptonas destinadas a medios de cultivo bacteriano

Tecnologías para la obtención de película electro hilada activa de colágeno/zeína/ácido gálico (Col/ZN/GA) para envasado de alimentos.

Para elaborar la película activa destinada al envasado de alimentos, el colágeno obtenido de la piel de tilapia se mezcla con zeína y ácido gálico para formar una solución polimérica homogénea. La mezcla se mantiene bajo agitación hasta lograr una adecuada dispersión de los componentes, permitiendo que el ácido gálico se incorpore a la matriz proteica y aporte propiedades antioxidantes y antimicrobianas al material Castro-Ferreira et al. (2022).

Posteriormente, la solución se somete a un proceso de electro hilado, en el que un campo eléctrico de alto voltaje transforma la solución en fibras ultrafinas que se depositan sobre un colector, formando una película continua. Una vez obtenida, la película se seca y estabiliza para eliminar los residuos de solvente y mejorar su resistencia mecánica. Finalmente, el material se almacena en condiciones adecuadas para conservar sus propiedades fisicoquímicas y funcionales, permitiendo su aplicación como envase activo para prolongar la vida útil de alimentos, especialmente productos pesqueros refrigerados (Castro-Ferreira et al. 2022).

En contraste, Saha et al. (2024) analizan estrategias tecnológicas para la producción de sulfato de condroitina, con énfasis en la sostenibilidad del proceso, la calidad del producto y su adecuación a diferentes aplicaciones finales. Por tanto, representan una ruta de transformación y conformado de una proteína pesquera para producir un biomaterial funcional,

Tecnologías para obtención de colágeno tipo I de alta pureza extraído de piel de tilapia del Nilo

Para obtener colágeno tipo I a partir de la piel de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), la piel se limpia cuidadosamente para eliminar impurezas y residuos, y posteriormente se somete a tratamientos químicos destinados a retirar proteínas no colagénicas y otros componentes presentes en el tejido. Una vez acondicionada la materia prima, el colágeno

se extrae mediante un tratamiento ácido bajo condiciones controladas, lo que permite solubilizar las fibras de colágeno y conservar su estructura molecular. Posteriormente, el extracto se filtra y purifica para eliminar los compuestos no deseados y obtener un colágeno de alta pureza (Gallo et al. 2022).

Después de la purificación, el colágeno se liofiliza para obtener un producto estable y de fácil conservación. Finalmente, el colágeno tipo I obtenido se caracteriza mediante diferentes técnicas fisicoquímicas y se evalúa su citocompatibilidad utilizando cultivos celulares, demostrando que posee una adecuada biocompatibilidad y un alto potencial para aplicaciones en ingeniería de tejidos, medicina regenerativa y desarrollo de biomateriales (Gallo et al. 2022).

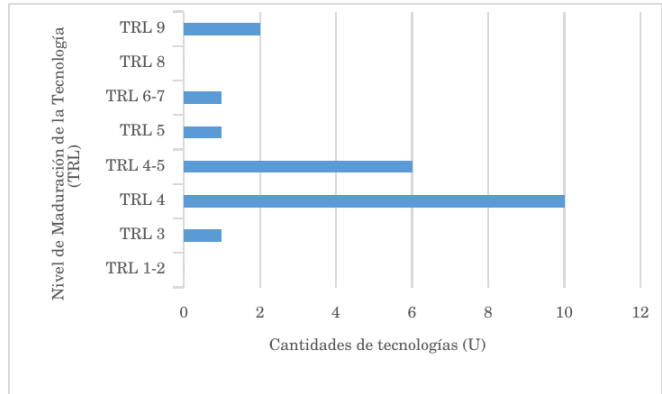


Figura 3 | Distribución de tecnología según su nivel de madurez.

Según, Barai et al. (2025) emplean vísceras de atún como fuente proteica para obtener péptidos bioactivos mediante hidrólisis con pepsina y tripsina, seguida de procesos de separación y purificación de las fracciones peptídicas con actividad antioxidante. También representan una ruta de extracción y purificación de una proteína estructural, procurando conservar el colágeno tipo I, correspondiente a una ruta de hidrólisis y fraccionamiento de proteínas, en la cual las proteínas son deliberadamente degradadas para generar péptidos de menor tamaño con actividad biológica.

3.3. Escalabilidad de las Tecnologías de los productos obtenidos a partir de los pescados según su Nivel de Madurez (TRL).

En nivel de Madurez Tecnológico (TRL), se considera una herramienta para evaluar escalabilidad de las tecnologías de los productos obtenidos a partir de los pescados, desde la investigación en laboratorio hasta su aplicación industrial. En la Figura 3 se muestra cómo se organizan las tecnologías en un sistema compuesto por 9 niveles, que va desde el TRL1, correspondiente a la fase inicial de una idea, hasta el TRL 9, que indica el desarrollo completo de la tecnología y que está lista para operar industrialmente.

	MATERIAS PRIMAS	Producto 1	Producto 2	Producto 3	Producto 4	Producto 5	Producto 6	Producto 7	Producto 8	Producto 9	Producto 10	Producto 11	Producto 12	Producto 13	Producto 14	Producto 15	Producto 16	Producto 17	Producto 18	Producto 19	Producto 20	Producto 21
4																						
5	Piel (Trucha arcoiris)	TAGI.(GL)																				
6	Cabeza (Atun amarillo)		TAGI.(HP)																			
7	Cartilago (Tilapia)			TAGI.(CS)																		
8	Visceras (Tambaqui)				TAGI.(CT1)																	
9	Visceras (Atun barrilete)					TAGI.(PH)																
10	Visceras (Atun skipjack)						TAGI.(HP)															
11	Visceras (Trucha arcoiris)							TAGI.(FPH)														
12	Piel (Atun barrilete)								TAGI.(BAPs)													
13	Sangre (Atun barrilete)									TAGI.(HIP)												
14	Sangre (Atun barrilete)										TAGI.(BAPs)											
15	Músculo oscuro (Atun aleta amarilla)											TAGI.(HPP)										
16	Piel (Trucha arcoiris)												TAGI.(FPH)									
17	Piel (Trucha arcoiris)													TAGI.(TRP)								
18	Músculo (Atun albacora)														TAGI.(ABF)							
19	Piel (Carpa plateada)															TAGI.(HP)						
20	Piel (Salmon)																TAGI.(CHF)					
21	Vicera (Atun de aleta amarilla)																	TAGI.(BLO)				
22	Huevas (Atun de aleta amarilla)																		TAGI.(BAPs)			
23	Piel (Tilapia del nilo)																			TAGI.(EAF)		
24	Piel (Tilapia del nilo)																					TAGI.(COL-I)

Figura 4 | Matriz de materias primas, tecnologías y productos a partir del pescado

El análisis del Nivel de Madurez Tecnológica (TRL) permitió clasificar las tecnologías identificadas según su grado de desarrollo. Como se observa en la Figura 3, la mayor concentración se encuentra en TRL 4, con aproximadamente 10 tecnologías, seguido del rango TRL 4-5, con alrededor de 6 tecnologías. Los niveles TRL 3, 5, 6 y 7 presentan una menor frecuencia, mientras que el TRL 9 registra aproxima-

damente 2 tecnologías. No se identificaron tecnologías en el rango TRL 1-2. En conjunto, los resultados muestran una mayor presencia de alternativas en niveles intermedios de desarrollo tecnológico

Según Rustad et al. (2011) la predominancia de tecnologías en TRL 4 y TRL 4-5 indica que gran parte de las alternati-

vas para el aprovechamiento de pescados y sus subproductos se encuentran en etapas de desarrollo y validación, por lo que aún requieren estudios adicionales para alcanzar una aplicación industrial consolidada. Esta situación representa una oportunidad para fortalecer la investigación mediante la optimización de las operaciones unitarias, validación a escala piloto y evaluación de su factibilidad de escalamiento. Por otra parte, las tecnologías clasificadas en niveles superiores, como TRL 7 y TRL 9, presentan un mayor grado de madurez y pueden servir como referencia para el desarrollo de rutas tecnológicas con potencial de aplicación agroindustrial, contribuyendo a la valorización de los subproductos pesqueros y a la obtención de productos de mayor valor agregado.

3.4. Matriz de Materia Prima-Tecnologías-Productos y Ruta tecnológica para el desarrollo agroindustrial

En la **Figura 4** se presenta una matriz que relaciona diferentes partes de pescado con los productos obtenidos y las tecnologías aplicadas en su transformación. Se muestra las operaciones y procesos utilizados aprovechando cada parte del pescado para producir productos innovadores. Así como las diferentes partes del pescado utilizadas como materias primas; relacionadas con las tecnologías aplicadas durante su transformación y con los productos obtenidos. la matriz considera partes como la piel, vísceras, cabezas, sangre, musculo, cartílago, huesos y otras fracciones del pescado, mostrando las diferentes operaciones y procesos empleados para su aprovechamiento. De esta manera, se

evidencia que el pescado no solamente puede destinarse al consumo directo, sino que sus subproductos también pueden ser utilizados como materias primas para la elaboración de productos con mayor valor agregado.

Desde el enfoque agroindustrial, la matriz permite visualizar las diferentes rutas de transformación que pueden desarrollarse a partir del pescado y sus subproductos. La relación entre materia prima, tecnología y producto facilita la identificación de alternativas para aprovechar integralmente las diferentes partes del pescado. Por tanto, la matriz constituye una herramienta para reconocer el potencial de valorización de los subproductos pesqueros y orientar el desarrollo de alternativas tecnológicas con aplicación agroindustrial.

En la **Figura 5**, se detalla las tecnologías agrupadas a partir de procesos unitarios utilizados para la elaboración de productos a partir del pescado y se esquematiza la agrupación sistemática de las tecnologías de transformación (TAGI1 a TAGI 21), detallando la secuencia de operaciones unitarias empleadas en la obtención de derivados a partir de pescados. El desglose operacional evidencia que cada cadena tecnológica se configura mediante etapas progresivas, tales como acondicionamiento, extracción, separación y acabado, cuya selección y concatenación varían en función de la materia prima procesada y del producto final deseado, evidenciado la diversidad de alternativas tecnológicas para el aprovechamiento agroindustrial de los pescados.

Tecnología	Operaciones									
TAGI1.(GL)	Lavado	Pre tratamiento alcalino	Pre tratamiento ácido	Extracción ácida	Filtrado	Concentración	Secado			
TAGI2.(HP)	Lavado	Hidrólisis enzimática	Centrifugación	Extracción del aceite FPH		esterilización	Secado			
TAGI3.(CS)	Lavado	Extracción	Hidrólisis enzimática	Purificación	Precipitación	Ultrafiltración				
TAGI4.(CT1)	Lavado	Desmineralización	Desengrasado	Extracción ácida	Filtración	Dialisis	Centrifugación	Liofilización		
TAGI5.(PH)	Lavado	Corte	Hidrólisis enzimática	Inactivación	Separación	Ultrafiltración	Concentración	Liofilización		
TAGI6.(HP)	Lavado	Corte	Homogenización	Hidrólisis enzimática	Inactivación	Separación	Ultrafiltración	Concentración	Liofilización	
TAGI7.(FPH)	Lavado	Molienda	Hidrólisis enzimática	Inactivación	Centrifugación	Concentración	Liofilización			
TAGI8.(BAPs)	Lavado	Molienda	Hidrólisis enzimática	Inactivación	Separación	Ultrafiltración	Liofilización			
TAGI9.(HIP)	Recolección	Filtración	Separación	Hidrólisis	Purificación	Concentración	Liofilización			
TAGI10.(BAPs)	Lavado	Corte	Hidrólisis enzimática	Centrifugación	Filtración	Ultrafiltración	Liofilización			
TAGI11.(HPP)	Lavado	Molienda	Hidrólisis enzimática	Inactivación	Centrifugación	Concentración	Liofilización			
TAGI12.(FPH)	Lavado	Molienda	Hidrólisis enzimática	Inactivación	Centrifugación	Filtración	Concentración	Liofilización		
TAGI13.(TRP)	Lavado	Molienda	Extracción enzimática	Centrifugación	Precipitación	Cromatografía	Liofilización			
TAGI14.(ABF)	Extracción	Solubilización	Formulación	Homogeneización	Moldeo	Secado				
TAGI15.(HP)	Lavado	Molienda	Hidrólisis enzimática	Inactivación	Centrifugación	Concentración	Liofilización			
TAGI16.(CHF)	Lavado	Molienda	Extracción enzimática	Centrifugación	Ultrafiltración	Concentración	Liofilización			
TAGI17.(BLO)	Recolección	Lavado	Secado	Molienda	Extracción	Filtración	Purificación			
TAGI18.(TSCP33 NHGK)	Lavado	Extracción	Hidrólisis enzimática	Filtración	Ultrafiltración	Cromatografía	Identificación	Liofilización		
TAGI19.(BAPs, P1-P6)	Lavado	Extracción	Hidrólisis enzimática	Filtración	Ultrafiltración	Cromatografía	Liofilización			
TAGI20.(EAF)	Extracción	Mezcla	Homogenización	electrohilada	Secado					
TAGI21.(COL-1)	Lavado	Desangrado	Desmineralización	Extracción	Filtración	Dialisis	Purificación			

Figura 5 | Matriz de materias primas, tecnologías y productos a partir del pescado

En la **Figura 6** se evidencia las tecnologías para la elaboración de productos a partir del pescado. Se muestran diversos procesos agrupados de acuerdo con su frecuencia de aplicación, indicando el porcentaje correspondiente y ordenándolos de mayor a menor recurrencia.

Se muestran las rutas tecnológicas identificadas para la obtención de diferentes productos y compuestos de valor agregado a partir de las materias primas analizadas. Las rutas integran un conjunto de operaciones unitarias que

permiten transformar y aprovechar las materias primas mediante procesos de lavado, molienda, corte, extracción, hidrólisis enzimática, centrifugación, filtración, ultrafiltración, concentración, purificación, cromatografía y liofilización, dependiendo de las características del producto que se desea obtener. De esta manera, las diferentes TAGI permiten establecer alternativas tecnológicas para la obtención de hidrolizados proteicos, péptidos bioactivos, colágeno, fracciones proteicas y otros productos de interés agroindustrial.

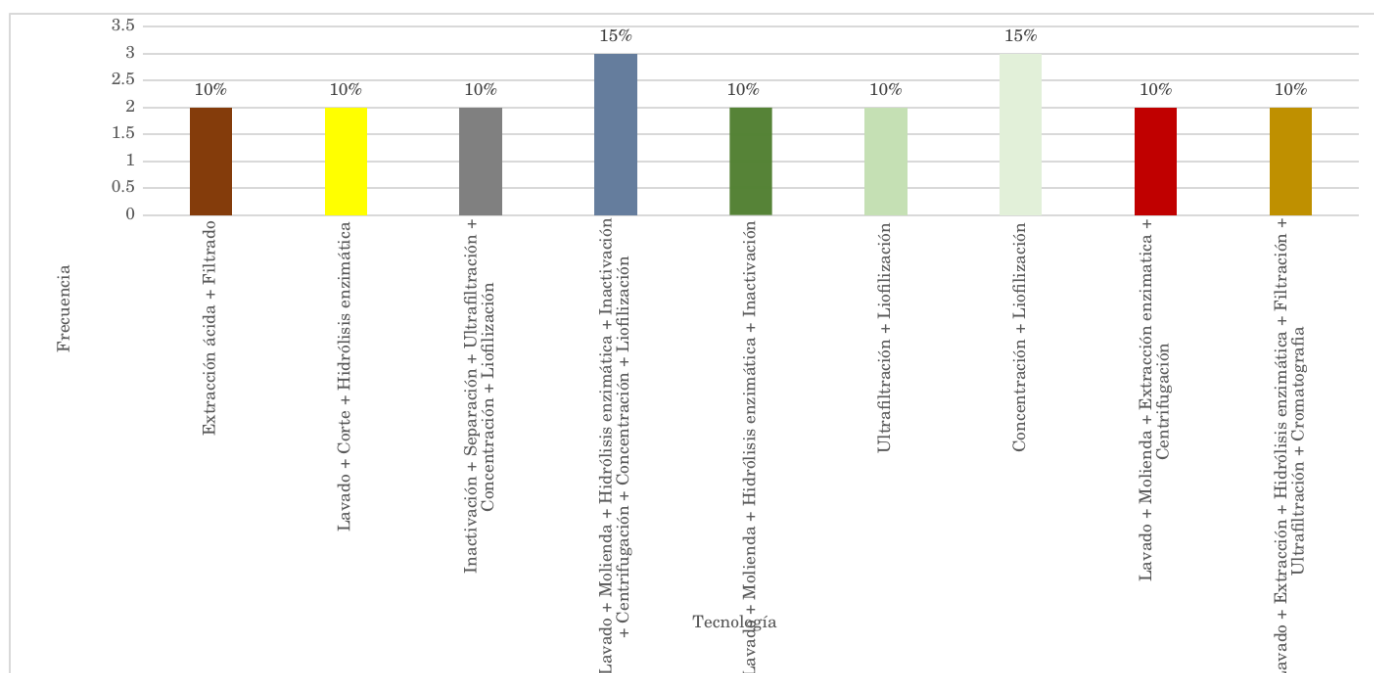


Figura 6 | Frecuencia de presencia de las operaciones en las tecnologías

El análisis de las rutas tecnológicas evidencia que existe una alta similitud en determinadas operaciones, especialmente en aquellas tecnologías orientadas a la obtención de hidrolizados y péptidos bioactivos. Por ejemplo, varias rutas incorporan la hidrólisis enzimática, seguida de operaciones de separación y purificación como centrifugación, filtración y ultrafiltración, para posteriormente realizar la concentración y liofilización. Esta secuencia permite obtener fracciones con características específicas y mayor grado de pureza. En cambio, otras rutas presentan operaciones particulares, como la desmineralización, desengrasado, diálisis y extracción ácida para la obtención de colágeno, o la cromatografía e identificación para la caracterización de péptidos específicos.

La organización de las rutas tecnológicas también permite observar la flexibilidad de los procesos de transformación, debido a que una misma materia prima puede ser sometida a diferentes secuencias de operaciones para obtener productos distintos. Asimismo, algunas tecnologías presentan rutas relativamente cortas, mientras que otras requieren un mayor número de etapas debido a la necesidad de separar, purificar y estabilizar los compuestos bioactivos. Esto demuestra que la selección de las operaciones depende principalmente del producto final, de las características de la materia prima y del nivel de pureza requerido.

De igual manera, las rutas tecnológicas presentan una tendencia hacia la valorización de materias primas y subproductos mediante la obtención de compuestos de mayor valor agregado. Las tecnologías relacionadas con los hidrolizados de proteína de pescado (FPH), los hidrolizados proteicos (HP) y los péptidos bioactivos (BAPs) utilizan principalmente procesos de hidrólisis y fraccionamiento, mientras que las rutas de colágeno tipo I (COL-I) incorporan tratamientos específicos para su extracción y purificación. Por otra parte, la presencia de operaciones como ultrafiltración, cromatografía y liofilización evidencia la incorporación de tecnologías de separación y conservación más especializadas, que permiten

mejorar las características y estabilidad de los productos

En la **Figura 7** se muestra las rutas tecnológicas establecidas para el aprovechamiento de las diferentes partes del pescado, donde cada materia prima es sometida a una determinada Tecnología Agroindustrial (TAGI) para obtener productos intermedios y, posteriormente, productos finales de valor agregado. La ruta inicia con el pescado como materia prima, del cual se pueden aprovechar diferentes componentes como piel, cabeza, cartílago, vísceras, sangre, músculo, huevos y escamas. Cada una de estas partes puede ingresar a diferentes tecnologías dependiendo de sus características y del producto que se pretende obtener.

La piel de pescado presenta una importante diversidad de aprovechamiento tecnológico, ya que se emplea en tecnologías como TAGI 1 (GL), TAGI 8 (BAPs), TAGI 12 (BAPs), TAGI 14 (ABF), TAGI 15 (HP), TAGI 20 (TSCP33 NHGK) y TAGI 23 (COL-I). Estas rutas permiten obtener productos como gomitas, suplementos, envases, carteras y otros productos de interés, evidenciando que una misma materia prima puede ser transformada mediante diferentes procesos para generar productos alimentarios, funcionales y materiales.

Por otra parte, la cabeza del pescado es aprovechada mediante TAGI 2 (HP), a partir de la cual se obtiene un producto intermedio que posteriormente permite elaborar una bebida. El cartílago utiliza la TAGI 3 (CS), dando lugar a productos asociados con suplementos, mientras que las vísceras presentan una amplia variedad de rutas tecnológicas. Estas incluyen TAGI 4 (CT1), TAGI 5 (PH), TAGI 6 (HP), TAGI 7 (FPH) y TAGI 16 (CHF), mediante las cuales se obtienen productos como apósitos, bioactivos farmacéuticos, sueros bioactivos y bebidas. Esto demuestra el potencial de las vísceras como fuente de compuestos de interés industrial y biotecnológico.

La sangre de pescado también puede ser valorizada mediante las tecnologías TAGI 9 (HIP) y TAGI 10 (BAPs), permitiendo obtener productos como envases biodegradables y

suplementos. De manera similar, el músculo puede ser procesado mediante TAGI 11 (HPP) y TAGI 13 (TRP), generando productos como galletas y tripsina purificada, respectivamente. Esto evidencia que las tecnologías aplicadas no se

limitan exclusivamente a productos alimenticios, sino que también permiten obtener compuestos con aplicaciones en las industrias farmacéutica y biotecnológica.

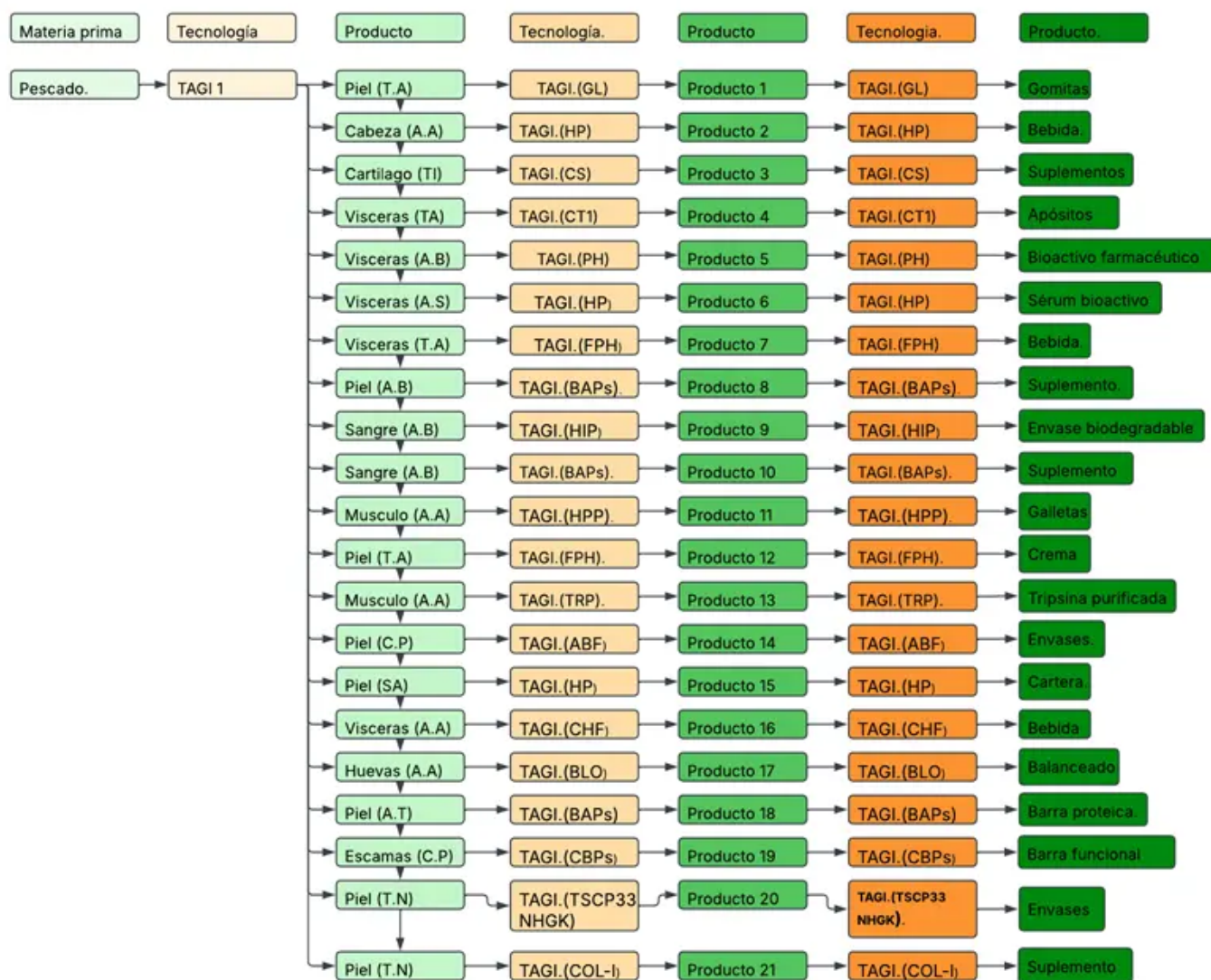


Figura 7 | Rutas tecnológicas para la obtención de diferentes productos a partir del pescado

Asimismo, los huevos son aprovechados mediante la TAGI 17 (BLO) para la elaboración de balanceado, mientras que las escamas pueden ser procesadas mediante la TAGI 19 (CBPs) para obtener una barra funcional. Estas rutas muestran alternativas para valorizar materiales que tradicionalmente pueden considerarse subproductos del procesamiento pesquero.

4. Conclusiones

La elaboración de la matriz tecnológica permitió relacionar las diferentes materias primas pesqueras con las operaciones de transformación y los productos obtenidos, facilitando la identificación de alternativas para un aprovechamiento más eficiente de los recursos pesqueros. Estas tecnologías representan una oportunidad para reducir la generación de residuos y promover el desarrollo de productos con aplicaciones alimentarias, nutraceuticas, biomédicas y biotecnológicas,

contribuyendo al fortalecimiento del valor agregado de la actividad pesquera.

El análisis de la información científica permitió identificar diversas tecnologías aplicadas al aprovechamiento y transformación de pescados y sus subproductos, demostrando que partes como la piel, vísceras, músculo, cabeza y huesos pueden ser utilizadas como fuentes de compuestos de interés. Operaciones como la extracción, hidrólisis enzimática, filtración, ultrafiltración, purificación, concentración y liofilización permiten obtener productos de valor agregado, entre ellos colágeno, gelatina, péptidos bioactivos, hidrolizados proteicos, sulfato de condroitina, aceites ricos en omega-3 y peptonas.

El análisis del Nivel de Madurez Tecnológica (TRL) permitió clasificar las tecnologías según su grado de desarrollo, desde etapas iniciales de investigación hasta aquellas con mayor preparación para su aplicación industrial. Asimismo, las

rutas tecnológicas permitieron integrar la secuencia de operaciones necesarias para transformar cada materia prima en un producto de valor agregado, relacionando las partes del pescado con las tecnologías y procesos de transformación.

Esta integración facilita la comparación de alternativas, la identificación de tecnologías con mayor potencial de escalamiento y la selección de rutas con posibilidades de aplicación agroindustrial

Contribuciones de los autores

Jonathan Fernando Benitez Andrade: Adquisición, y análisis de los datos; redactó el manuscrito, aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Amaury Pérez Martínez: Concepción del trabajo; aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Todos los autores aprobaron la versión enviada y editada.[0.5em]

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

5. Referencias

BARAI, Alexandre Augusto, INHAMUNS, Antônio José, NÓBREGA, Tiago Cabral, GUIMARÃES, Cristiane Cunha, MOURÃO, Lúcia dos Santos, DE SOUZA, Antonio Fabio Lopes, PONTES, Fagnaldo Braga, FARIAS, Flávia Dayane Félix, MENDES, Joana Maia, RUFINO, João Paulo Ferreira and OLIVEIRA, Adriano Teixeira de, 2025. Extraction of collagen from by-products of Amazonian fish tambaqui, *Colossoma macropomum* and pirarucu *Arapaima gigas*. *Applied Food Research*. Online. June 2025. Vol. 5, no. 1, p. 100720. DOI: 10.1016/j.afres.2025.100720. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2772502225000307>

CASTRO-FERREIRA, Catarina, GOMES-DIAS, Joana S., FERREIRA-SANTOS, Pedro, PEREIRA, Ricardo N., VICENTE, Antônio A. and ROCHA, Cristina M.R., 2022. Phaeodactylum tricornutum extracts as structuring agents for food applications: Physicochemical and functional properties. *Food Hydrocolloids*. Online. March 2022. Vol. 124, p. 107276. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2021.107276. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0268005X21006925>

CATHERINE G. MANNING, 2023. Technology Readiness Levels - NASA. . Online. 2023. Available from: <https://www.nasa.gov/directorates/somd/space-communications-navigation-program/technology-readiness-levels/> [Accessed 18 February 2026].

FARFÁN FLORES, Daniel, SANTANA SEPÚLVEDA, Paula Andrea, ÁLVAREZ ÁLVAREZ, Claudio Andrés, ARCE CERVANTES, Oscar, ARMENTA JAIME, Silvia and GONZÁLEZ OLIVARES, Luis Guillermo, 2026. Promising Use of Proteins of Rainbow Trout Byproducts for Obtaining Multifunctional Bioactive Peptides: Processing Perspective. *Eng*. Online. 1 April 2026. Vol. 7, no. 4, p. 164. DOI: 10.3390/eng7040164. Available from: <https://www.mdpi.com/2673-4117/7/4/164>

GALLO, Nunzia, NATALI, Maria Lucia, QUARTA, Alessandra, GABALLO, Antonio, TERZI, Alberta, SIBILLANO, Teresa, GIANNINI, Cinzia, DE BENEDETTO, Giuseppe Egidio, LUNETTI, Paola, CAPOBIANCO, Loredana, BLASI, Federica Stella, SICURO, Alessandro, CORALLO, Angelo, SANNINO, Alessandro and SALVATORE, Luca, 2022. Aquaponics-Derived Tilapia Skin Collagen for Biomaterials Development. *Polymers*. Online. 2 May 2022. Vol. 14, no. 9, p. 1865. DOI: 10.3390/polym14091865. Available from: <https://www.mdpi.com/2073-4360/14/9/1865>

HAO, Gengxin, CAO, Wenqi, LI, Ting, CHEN, Jun, ZHANG, Jinli, WENG, Wuyin, OSAKO, Kazufumi and REN, Huifeng, 2019. Effect of temperature on chemical properties and antioxidant activities of abalone viscera subcritical water extract. *The Journal of Supercritical Fluids*. Online. May 2019. Vol. 147, p. 17-23. DOI: 10.1016/j.supflu.2019.02.007. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0896844618307630>

KAVEH, S.; Mahoonak, A. S.; Erfanimoghadam, V.; Ghorbani, M.; Gholamhosseinpour, A.; Reisi, M., 2024. بهینه سازی شرایط هیدرولیز و نوع پروتئاز بر درجه هیدرولیز و ویژگی‌های ضدکاسایشی پروتئین هیدرولیز شده حاصل از امعاء و احشای ماهی هور مسقطی (Katsuwonus pelamis) با استفاده از روش سطح پاسخ. *مجله علوم و صنایع غذایی ایران*. Online. 2024. Vol. 20, p. 131-152. Available from: <https://doi.org/10.22034/FSCT.20.144.131> [Accessed 28 August 2026].

KVANGARSNES, Kristine, DAUKSAS, Egidijus, TOLSTOREBROV, Ignat, RUSTAD, Turid, BARTOLOMEI, Martina, XU, Ruoxian, LAMMI, Carmen and CROPOTOVA, Janna, 2023. Physicochemical and functional properties of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) hydrolysate. *Heliyon*. Online. July 2023. Vol. 9, no. 7, p. e17979. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e17979.

Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405844023051873>

MERIC TURGUT, İlknur and DOĞANKAYA, Levent, 2026. A Dual Strategy for Innovative Extraction and Nutritional Efficacy of Black Soldier Fly Larvae Oil. *Applied Sciences*. Online. 6 January 2026. Vol. 16, no. 2, p. 568. DOI: 10.3390/app16020568. Available from: <https://www.mdpi.com/2076-3417/16/2/568>

MIRANDA, Kelvi W.E., FROTA, Maryana M., MATTOS, Adriano L.A., ARAÚJO, Antonio Willian O., ALVES JÚNIOR, Francisco T., VASCONCELOS, Luciléia B., BASTOS, Maria do Socorro R. and SOUZA, Tiago M., 2025. Eco-friendly bionanocomposite based on a ternary blend reinforced with bacterial cellulose for application in packaging materials. *Food Packaging and Shelf Life*. Online. March 2025. Vol. 48, p. 101442. DOI: 10.1016/j.fpsl.2025.101442. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214289425000122>

NGUYEN, Binh Cong, XUAN NGUYEN, Hong Minh, NAM NGUYEN, Kha Hoang and CHAN KHA, Tuyen, 2021. Functional Properties of Yellowfin Tuna (*Thunnus albacares*) Skin Collagen Hydrolysate Fraction obtained by Ultrafiltration Purification. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*. Online. 31 December 2021. Vol. 9, no. 3, p. 841-854. DOI: 10.12944/CRNFSJ.9.3.12. Available from: <https://www.foodandnutritionjournal.org/volume9number3/functional-properties-of-yellowfin-tuna-thunnus-albacares-skin-collagen-hydrolysate-fraction-obtained-by-ultrafiltration-purification/>

PAGE, Matthew J, MCKENZIE, Joanne E, BOSSUYT, Patrick M, BOUTRON, Isabelle, HOFFMANN, Tammy C, MULROW, Cynthia D, SHAMSEER, Larissa, TETZLAFF, Jennifer M, AKL, Elie A, BRENNAN, Sue E, CHOU, Roger, GLANVILLE, Julie, GRIMSHAW, Jeremy M, HRÓBJARTSSON, Asbjörn, LALU, Manoj M, LI, Tianjing, LODER, Elizabeth W, MAYO-WILSON, Evan, MCDONALD, Steve, MCGUINNESS, Luke A, STEWART, Lesley A, THOMAS, James, TRICCO, Andrea C, WELCH, Vivian A, WHITING, Penny and MOHER, David, 2021. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. Online. 29 March 2021. P. n71. DOI: 10.1136/bmj.n71. Available from: <https://www.bmj.com/lookup/doi/10.1136/bmj.n71>

PERNA, Anna Maria, GRASSI, Giulia, GAMBACORTA, Emilio and SIMONETTI, Amalia, 2021. Minerals content in Basilicata region (southern Italy) honeys from areas with different anthropic impact. *International Journal of Food Science & Technology*. Online. 26 September 2021. Vol. 56, no. 9, p. 4465-4472. DOI: 10.1111/ijfs.15112. Available from: <https://academic.oup.com/ijfst/article/56/9/4465/7806167>

POONSIN, Tanchanok, SIMPSON, Benjamin K., BENJAKUL, Sootawat, VISESSANGUAN, Wonnop and KLOMKLAU, Sappasith, 2017. Albacore tuna (*Thunnus alalunga*) spleen trypsin partitioning in an aqueous two-phase system and its hydrolytic pattern on Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) shells. *International Journal of Food Properties*. Online. 3 October 2017. Vol. 20, no. 10, p. 2409-2422. DOI: 10.1080/10942912.2016.1240180. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10942912.2016.1240180>

RUSTAD, Turid, STORRØ, Ivar and SLIZYTE, Rasa, 2011. Possibilities for the utilisation of marine by-products. *International Journal of Food Science & Technology*. Online. 5 October 2011. Vol. 46, no. 10, p. 2001-2014. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2011.02736.x. Available from: <https://academic.oup.com/ijfst/article/46/10/2001/7866725>

SAHA, Sushanta Kumar, ZHU, Yin, MURRAY, Patrick and MADDEN,

- Lena, 2024. Future proofing of chondroitin sulphate production: Importance of sustainability and quality for the end-applications. *International Journal of Biological Macromolecules*. Online. May 2024. Vol. 267, p. 131577. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2024.131577. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0141813024023821>
- SHEN, Cunkuan, XU, Yuanfang, YAN, Jinxin, QI, Xiangyang, CAO, Shaoqian and YANG, Hua, 2025. Purification and Characterization of Immunomodulatory Peptides from Hydrolysates of Thunnus albacares Dark Muscle. *Foods*. Online. 20 March 2025. Vol. 14, no. 6, p. 1068. DOI: 10.3390/foods14061068. Available from: <https://www.mdpi.com/2304-8158/14/6/1068>
- TANSUKKASEM, Satita, KAEWPATHOMSRI, Piriya, JONJAROEN, Veasarach, PAYONGSRI, Panwajee, LERTSIRI, Sittiwat and NIAMSIRI, Nuttawee, 2023. Production and Characterization of Heme Iron Polypeptide from the Blood of Skipjack Tuna (*Katsuwonus pelamis*) Using Enzymatic Hydrolysis for Food Supplement Application. *Foods*. Online. 29 August 2023. Vol. 12, no. 17, p. 3249. DOI: 10.3390/foods12173249. Available from: <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/17/3249>
- TOVAR, Clara A., PIÑEIRO, Lorena and HERRANZ, Beatriz, 2017. Comparative study of pH and high pressure treatment on the viscoelastic properties of glucomannan gels after long-term frozen storage. *Food Hydrocolloids*. Online. November 2017. Vol. 72, p. 346–349. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2017.06.012. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0268005X17302345>
- USMAN, Muhammad, REGENSTEIN, Joe Mac, RAHMAN, Hafiz Ubaid Ur, SAHAR, Amna, AADIL, Rana Muhammad, TARIQ, Amna, FATIMA, Ieaman, BILAL, Ahmad and HE, Lili, 2025. Physicochemical and functional properties of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) skin gelatin in comparison to commercial bovine gelatin. *Food Chemistry Advances*. Online. September 2025. Vol. 8, p. 101088. DOI: 10.1016/j.focha.2025.101088. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2772753X25002023>
- VÁZQUEZ, José Antonio, PEDREIRA, Adrián, DURÁN, Salvador, CABANELAS, David, SOUTO-MONTERO, Paula, MARTÍNEZ, Paula, MULET, Mercedes, PÉREZ-MARTÍN, Ricardo I. and VALCARCEL, Jesus, 2022. Biorefinery for tuna head wastes: Production of protein hydrolysates, high-quality oils, minerals and bacterial peptones. *Journal of Cleaner Production*. Online. July 2022. Vol. 357, p. 131909. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.131909. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652622015190>
- VINOCUNGA-PILLAJO, Reni Danilo, ROMERO-VISTÍN, Aida Salomé, JIMÉNEZ-TAMAYO, Fabiola Maribel, SÁNCHEZ-VALLEJO, Carlos Alfonso, GUARDADO-YORDI, Estela and PÉREZ-MARTÍNEZ, Amaury, 2025. Technological route for the agro-industrial development of the province of Pastaza based on the valorization of agricultural, livestock, and forest resources. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*. Online. 2025. DOI: 10.17533/udea.redin.20250879. Available from: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/357286> [Accessed 28 January 2026].