

Methodologies for the Utilization of Fish Waste: A Review of Literature

Pasco-Ynfante Deysi Karolay, Estudiante de Ingeniería Industrial¹, Tamayo-Barboza Angie Maricielo, Estudiante de Ingeniería Industrial², Chávez-Romero Zaida Brenilda, Doctora en Ingeniería³
^{1,2,3}Universidad Tecnológica del Perú, Perú, U20243712@utp.edu.pe, U20226393@utp.edu.pe, zchavez@utp.edu.pe

Abstract: *The paper focuses on the review of methodologies to take advantage of fish waste. Fishing generates a large amount of waste that is dumped into marine ecosystems, causing environmental problems. The objective of the paper is to identify methods that improve the utilization of these wastes, conserving their valuable compounds such as proteins, essential fatty acids, and other bioactives. For the review, the PICO and PRISMA methodologies were used, and various sources of academic information were analyzed, selecting 42 relevant articles. The results highlight that conventional fish waste processing methods are less efficient, causing the degradation of valuable compounds. In contrast, more efficient and environmentally friendly emerging methods are identified, such as ultrasound extraction, supercritical fluids, microwaves, electric pulse field, deep eutectic solvents and green solvents. Finally, it is concluded that the use of these green technologies not only preserves the quality of fish waste, but also reduces the environmental impact and offers additional economic opportunities for the fishing industry.*

Keywords: *Fish waste, Marine pollution, Sustainable fishing, Fishing industry.*

METODOLOGÍAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE PESCADO: UNA REVISIÓN DE LITERATURA

Pasco-Ynfante Deysi Karolay, Estudiante de Ingeniería Industrial¹, Tamayo-Barboza Angie Maricielo, Estudiante de Ingeniería Industrial², Chavéz-Romero Zaida Brenilda, Doctora en Ingeniería³
^{1,2,3}Universidad Tecnológica del Perú, Perú, U20243712@utp.edu.pe, U20226393@utp.edu.pe, zchavez@utp.edu.pe

Resumen: El documento se centra en la revisión de metodologías para aprovechar los residuos de pescado. La pesca genera una gran cantidad de residuos que se vierten en los ecosistemas marinos, causando problemas ambientales. El objetivo del documento es identificar métodos que mejoren el aprovechamiento de estos residuos, conservando sus compuestos valiosos como proteínas, ácidos grasos esenciales, y otros bioactivos.

Para la revisión, se utilizaron las metodologías PICO y PRISMA, y se analizaron diversas fuentes de información académica, seleccionando 42 artículos relevantes. Los resultados destacan que los métodos convencionales de procesamiento de residuos de pescado son menos eficientes, provocando la degradación de compuestos valiosos. En cambio, se identifican métodos emergentes más eficientes y ecológicos, como la extracción por ultrasonido, fluidos supercríticos, microondas, campo de pulsos eléctricos, disolventes eutécticos profundos y disolventes verdes.

Finalmente, se concluye que el uso de estas tecnologías verdes no solo preserva la calidad de los residuos de pescado, sino que también reduce el impacto ambiental y ofrece oportunidades económicas adicionales para la industria pesquera.

Palabras claves: Residuo pesquero, Contaminación marina, Pesca sostenible, Industria pesquera

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación del mar proveniente de la actividad pesquera se debe a la presencia de los desechos marinos [1], que son objetos de origen antropogénico arrojados de manera intencional o no en el entorno marítimo [2]. Cada año, el procesamiento de pescado genera más de 20 millones de toneladas de residuos de pescado (vísceras, piel, cabezas y escamas), que representan el 50-80% del cuerpo del pez, y su eliminación equivale al 25% de la producción mundial de la pesca [3].

Sumado a esto, en los últimos años se ha evidenciado que las prácticas inadecuadas de eliminación de residuos del pescado han provocado daños medioambientales significativos [3]. Se ha estimado que el 50% de los productos pesqueros destinados para el consumo humano son desechados [4] a verterderos y al mar [5], ocasionando un desequilibrio en el ecosistema. Al afectar los niveles de oxígeno, la temperatura, el pH y la salinidad [6], lo que conlleva a que las especies marinas se encuentren expuestas a contaminantes, que provocan la

reducción de sus propiedades sensoriales y su valor nutritivo, debido a la degradación de sus proteínas y oxidación de lípidos [7].

Además, la falta de aprovechamiento de los residuos de pescado representa una pérdida de ingresos adicionales para las empresas [3]. Diversos estudios demuestran que para garantizar la utilización sostenible de los recursos marinos y proveer una solución ante los problemas ambientales asociados con la pesca, es necesario aprovechar los residuos para la elaboración y comercialización de productos con alto valor económico [8].

En la actualidad, la cantidad de pescado producido y sus residuos generados han captado cada vez más atención debido a que contiene una fuente significativa de biocompuestos valiosos como péptidos, ácidos grasos, aminoácidos y biopolímeros [9]. También, poseen un alto contenido proteico, que representa entre el 8 al 35% del residuo [10].

Para lograr la valorización de los subproductos pesqueros, es necesario aplicar métodos de tratamiento que cumplan la función de recuperación de compuestos sin alterar sus propiedades funcionales [4]. Actualmente, se han desarrollado métodos de extracción respetuosos con el medio ambiente, tales como ultrasonido, microondas, técnicas de fluidos supercríticos, campo eléctrico pulsado, disolvente eutéctico profundo y disolventes verdes, que facilitan la obtención de proteínas. [11].

De esta manera, estos desechos tendrían una mayor utilización en distintos sectores, incluyendo la industria alimentaria, farmacéutica, cosmética, nutracéutica y energética [3, 12]. Por lo tanto, los usos alternativos para estos desechos no solo generarían nuevas fuentes de ingresos, sino que también permitirían oportunidades laborales y actividades económicas para las poblaciones costeras, contribuyendo así al desarrollo socioeconómico [8].

En los últimos años, los residuos de pescado han sido valorados para la elaboración de gelatina, quitosano, hidrolizados, colágeno, péptidos y aceite de pescado. [4]. De los cuales, los métodos convencionales utilizados para

la obtención de estos productos potenciales presentan ciertas deficiencias, como el tiempo elevado de procesamiento y el uso de disolventes tóxicos [13]. Debido a ello, se han desarrollado nuevos métodos más eficientes donde utilizan disolventes alternativos; sin embargo, hay ciertas limitaciones para su implementación tales como altos costos de uso y poco conocimiento en cuanto a su aplicabilidad. [9]

En este sentido, la presente investigación pretende identificar metodologías que se puedan utilizar para el aprovechamiento de residuos de pescado.

II. METODOLOGÍA

La metodología que se empleó se basó en una “Revisión Sistemática de Literatura”, con la finalidad de recopilar, evaluar y sintetizar investigaciones relacionadas al objetivo.

En cuanto al proceso de búsqueda, se consideraron artículos originales, revisiones de literatura y conference papers entre los años 2019 – 2024. Para la selección de fuentes, se revisaron las bases de datos Scopus, ScienceDirect y ResearchGate, con la finalidad de garantizar la recolección de información de fuentes confiables. En donde para la ecuación de búsqueda se utilizaron palabras claves relacionadas con el propósito de la investigación. Además, se aplicaron operadores booleanos AND y OR, para mejorar la precisión en cuanto a los resultados obtenidos.

Con el fin de obtener una búsqueda precisa y efectiva, se empleó el método PICO, que permitió plasmar una pregunta de investigación concreta y estructurada, mediante la desagregación de cada componente. En la tabla I, se muestran las 4 preguntas formuladas.

TABLA I
ESTRUCTURA PICO

ESTRUCTURA PICO / PREGUNTA	¿Qué métodos de tratamiento permiten un mejor aprovechamiento de los compuestos del residuo de pescado para la obtención de productos de alto valor comercial?
Población	¿Qué desafíos de la industria pesquera se podrían solucionar mediante el aprovechamiento de los residuos pesqueros?
Intervención	¿Cuáles son los métodos emergentes que permiten un mejor aprovechamiento de los compuestos del residuo de pescado?
Comparación	¿Qué tan eficaces han resultado en comparación con los métodos convencionales?
Resultados	¿Qué productos de alto valor comercial se han obtenido?

La tabla II, menciona las palabras claves correspondientes a cada componente del PICO.

TABLA II
PALABRAS CLAVES SEGÚN PICO

PALABRA CLAVES	
Población	"Fish waste" OR "Fish by-product" OR "Fish residue" OR "Fish discards" OR "Fish spoilage"
Intervención	"Conventional treatment" OR "Treatment methods" OR Treatment OR Methods
Comparación	"Emerging technologies" OR Biotechnology OR "New technology" OR "New methods" OR "Extraction methods" OR Extraction
Resultado	"Potential uses" OR "Sustainable approach" OR "Fish waste products" OR "Products off high commercial" OR "Value added products" OR products OR utilization

En la tabla III, se detalla la ecuación de búsqueda aplicada en las dos bases de datos.

TABLA III
ECUACIÓN DE BÚSQUEDA

ECUACIÓN DE BÚSQUEDA// ESQUEMA PICO	
SCOPUS	(TITLE-ABS-KEY (cc OR "Fish residue" OR "Fish discards" OR "Fish spoilage") AND TITLE-ABS-KEY (C OR treatment OR methods) AND TITLE-ABS-KEY (C OR "New technology" OR "New methods" OR "Extraction methods" OR extraction) AND TITLE-ABS-KEY ("Potential uses" OR "Sustainable approach" OR "Fish waste products" OR "Products off high commercial" OR "Value added products" OR products OR utilization)) AND PUBYEAR > 2018 AND PUBYEAR < 2025 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English")))
SCIENCEDIRECT	("emerging technologies" OR "extraction") AND ("Fish waste" OR "fish protein" OR "fish by-products")

Los criterios de inclusión y exclusión establecidos permitieron descartar aquellos artículos que no agregaran valor al objetivo de la investigación. Ante esta búsqueda se obtuvieron 133 resultados en Scopus y 255 en ScienceDirect. Adicionalmente, se buscó en ResearchGate de forma manual, encontrando 14 investigaciones potenciales. Así pues, se obtuvo un total de 402 artículos, donde se excluyeron 232 artículos por título y resumen, y se cribaron 170, obteniendo así 42 artículos sometidos al análisis correspondiente para el desarrollo de la presente Revisión Sistemática de Literatura (RSL).

En la figura 1, se visualiza el diagrama de flujo de PRISMA, que representa de manera organizada el procedimiento sistemático de selección.

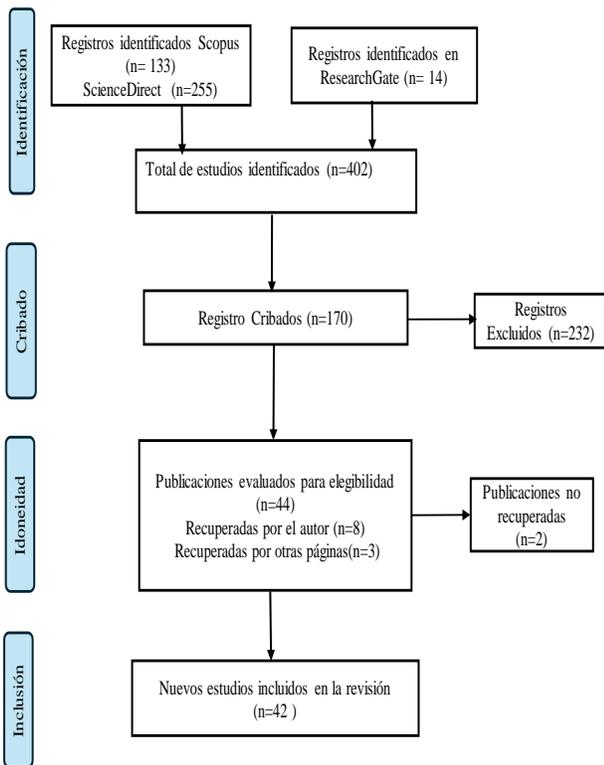


Figura 1. Diagrama de flujo de PRISMA

III. RESULTADOS

a. Desafíos de la industria pesquera

Actualmente la industria pesquera tiene tres grandes desafíos relacionados con el manejo y gestión de sus residuos, siendo estos:

El alto índice de descarte que se genera anualmente, lo que contribuye de manera significativa a la contaminación ambiental. Debido a que antes de llegar al consumidor, el pescado se somete a rigurosos controles de calidad que resultan en el descarte de más del 25% de las capturas [14]. Entre los que incluyen especies de bajo valor económico o que presentan daños, impidiendo su comercialización. Usualmente, son eliminados en vertederos, ocasionando un incremento de emisiones de gases de efecto invernadero [15, 16]. También estos residuos de pescado se vierten al océano, causando un aumento en la carga orgánica [17], que obstaculiza la reproducción y estabilidad de la vida oceánica [7, 18]. Además, la presencia de sustancias químicas y microorganismos patógenos que proliferan el entorno marítimo, debido a las actividades antropogénicas, afecta

negativamente a los peces, haciéndolos inapropiados para el consumo humano al presentar un alto contenido de toxinas [18] [19]. A su vez, durante el procesamiento de pescado se descartan residuos sólidos que son incinerados mediante una cámara de combustión. Sin embargo, el procedimiento se ve afectado por las altas concentraciones de cloruro que posee el residuo. Estas sustancias son liberadas en la atmósfera, contaminando el medio ambiente [15, 16].

Por otro lado, la utilización de técnicas inadecuadas para la obtención de productos a partir del residuo de pescado, frecuentemente emplean productos químicos como disolventes de extracción (cloroformo, metanol, hexano, ácido acético e isopropanol), que son nocivos para la salud humana y el medio ambiente [4, 20]. Además, se les consideran ineficientes por las altas temperaturas aplicadas y el tiempo prolongado de extracción, que provoca la reducción de la pureza del producto final [9, 20]. Sin embargo, es empleado debido a que el proceso es rentable y poco complejo. Por otro lado, los residuos al no ser utilizados de forma inmediata suelen adquirir bacterias y enzimas, que dificultan su procesamiento, obteniendo como resultado su degradación [19].

Por último, la falta de valorización de los residuos de pescado es causada por el alto contenido microbiano y el desagradable olor que estos pueden presentar, provocando rechazo por parte del consumidor [20] y su posterior eliminación, impactando negativamente al ecosistema [18]. Es por ello que algunas industrias consideran factible aprovecharlos para elaborar productos potenciales, que permitirán obtener ingresos económicos adicionales en el sector pesquero [21].

En tal sentido, se podría solucionar mediante la aplicación de métodos que hagan uso de disolventes verdes, ya que presentan un alto nivel de selectividad, posibilitando la disminución de la carga microbiana; de esa forma, se podrá obtener un producto completamente sostenible y de calidad [22], que satisfaga las necesidades de las personas [18].

b. ¿Cuáles son los métodos emergentes que permiten un mejor aprovechamiento de los compuestos del residuo de pescado?

Los métodos de extracción consisten en la recuperación de compuestos bioactivos y nutrientes del residuo de pescado, con la finalidad de transformarlos en productos novedosos altamente comerciales [23]. Debido a que los métodos convencionales presentan desventajas como alta tasa de consumo de disolventes orgánicos, se han venido desarrollando tecnologías verdes, que posibilitan la valorización de los residuos mediante técnicas respetuosas con el medio ambiente, ya que utiliza disolventes alternativos menos tóxicos [9, 12]. Permitiendo preservar la calidad nutricional del

subproducto sin alterar su composición y estructura, influyendo así en el rendimiento [5, 12].

En la Tabla IV, se identificaron estudios que utilizaron métodos emergentes para la recuperación de compuestos beneficiosos. Estas técnicas ecológicas garantizan la seguridad y calidad de los productos potenciales al tener una concentración bactericida menor (12.5mg/mL) [24].

Para realizar la comparación entre los métodos, es necesario definir el tipo de residuo que será objeto de análisis, los indicadores específicos que se utilizarán para evaluar el rendimiento, así como los parámetros de extracción que mostrarán las condiciones aplicadas en el procedimiento según el método emergente y convencional. Tal como se presenta en la tabla V:

TABLA IV
MÉTODOS EMERGENTES PARA LA EXTRACCIÓN DE COMPUESTOS

Método emergente	Características	Compuesto extraído	Fuente
Ultrasonido	Genera la cavitación, que permite retener las moléculas que tienden a degradarse por el calor como las enzimas.	Ácidos grasos omega-3, colágeno, proteínas	[3], [9], [11], [13], [25], [26], [27], [49],
Fluido supercrítico	Utiliza sustancias, donde la temperatura y presión se encuentran en condiciones críticas, como el dióxido de carbono (CO ₂).	Proteínas, colágeno	[9], [11], [13], [20], [25], [44],
Microondas	Utiliza un extractor de microondas que facilita la recuperación de compuestos empleando temperaturas bajas.	Ácidos grasos omega-3, proteínas	[18], [24], [26]
Campo de pulsos eléctricos	Emplea electrodos de alto voltaje durante cortos períodos de tiempo, facilitando la extracción	Ácidos grasos omega-3, proteínas	[11],[21], [28], [29]
Disolvente eutéctico profundo	Mezcla de dos o más compuestos; como ácido cítrico, xilitol y agua, que forman un líquido eutéctico al combinarse.	Colágeno	[13], [18], [30]
Disolventes verdes	Utiliza disolventes ecológicos como el agua acidificada o etanol.	Ácidos grasos omega-3, colágeno	[4], [31]

c. *¿Qué tan eficaces han resultado en comparación con los métodos convencionales?*

Los métodos convencionales se caracterizan por utilizar temperaturas superiores a 150°C durante largos períodos de tiempo en el proceso de obtención de compuestos bioactivos [22, 32], ocasionando su degradación [17]. Usualmente, estas técnicas requieren un tratamiento previo con el fin de mejorar el rendimiento de extracción; para lograrlo, utilizan un ácido mineral que es dañino para el medio ambiente [13, 17]. A pesar de estos inconvenientes, el procesamiento térmico se sigue utilizando por su simplicidad y bajo costo [26].

TABLA V
EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO ENTRE METODOS CONVENCIONALES Y EMERGENTE

Residuo de pescado	Indicador	Método Emergente			Método Convencional			Fuente
		Técnicas	Parámetro de extracción	Rendimiento	Técnicas	Parámetro de extracción	Rendimiento	
Piel	Extracción de colágeno	Ultrasonido	Potencia:300W Frecuencia:20kHz Temperatura:3-5°C Tiempo:5-25min	57.06 %	Extracción con ácido acético	Proporción de disolvente: 1:30p/v Temperatura:4°C Tiempo:45min	21.49%	[25]
Vísceras	Extracción de aceite	Fluido Supercrítico	Presión:15-30MPa Temperatura: 40-50°C Tiempo:3 h	40.87%	Soxhlet	Proporción de disolvente: 100 mL Temperatura: 65-75°C Tiempo:16h	56.13%	[33]
Piel	Extracción de aceite		Presión:250 bar Temperatura: 45°C Tiempo:3 h	42.79%		Proporción de disolvente: 100mL Temperatura:42°C Tiempo:12 h	51.08%	[34]
Cabeza	Extracción de aceite	Microondas	Potencia:50W Relación sólido - líquido:80g/L Tiempo: 8-11min	21.50±1.85%	Soxhlet	Proporción de Disolvente: 50mL Temperatura: 80°C Tiempo: 6h	39.14±0.65%	[35]
Branquia	Capacidad antioxidante	Campo de pulsos eléctricos	Intensidad de campo:1.40kV/cm Potencia:7000v Ancho de pulso: 20 µs Frecuencia: 10 Hz	389,62 µg	Disolvente (agua y metanol)	Proporción de disolvente:5 mL Temperatura: 20°C Tiempo: 15 min	300-350 µg	[29]
Piel	Extracción de colágeno	Disolvente eutéctico profundo	Proporción de disolvente: 1:10p/p Temperatura: 40°C Tiempo:1h	18.6± 3.82%	Extracción con ácido	Temperatura:4°C Tiempo:48h	7.57± 3.53%	[36]
Piel	Extracción de gelatina	Disolvente verde	Proporción de disolvente: 1:3p/v Temperatura:50°C Tiempo:3h	4.2%	Extracción con NaCl	Proporción de disolvente: 1:6p/v Temperatura:45°C Tiempo:6h	1.51%	[17]
Huesos								
Cabeza	Extracción de aceite	Ultrasonido	Solvente:15.47-15.84mLg ⁻¹ Temperatura:40-42°C Tiempo:18-38min	38.26%	Soxhlet	Proporción de disolvente:150ml Temperatura:40°C Tiempo:4h	43.12%,	[26]
Branquia		Microondas		36.84%				
Espina								
Cola								
Aleta								
Cabeza	Extracción de aceite	Microondas	Potencia:50-1000 W Sólido/líquido:70-120 g/L Temperatura:50°C Tiempo: 1-30 min	17.9±0.8%	Soxhlet	Proporción de disolvente:250mL Temperatura:80C° Tiempo:6h	18 ± 1 %,	[24]
Piel	Extracción de aceite	Disolventes verdes	Concentración de enzimas: 12%p/v Temperatura: 20-60°C Tiempo: 1-4h	32.5±70.7%	Disolventes (metanol y cloroformo)	Proporción de disolvente: 2:2p/v Temperatura:20-60°C Tiempo: 1-4h	33.7±66.7%	[4]
Cabezas								

Con respecto a la comparación realizada en la Tabla V, se destacó que los métodos emergentes empleados en los artículos [4,17,25,29,36], mostraron un rendimiento superior a los convencionales. A pesar de que las investigaciones restantes [24,26,33,34,35] presentaron una extracción menor, se les considera más eficientes, puesto que el tiempo empleado es más corto, en contraste con las técnicas tradicionales que pueden tardar hasta 48 horas [36]. Además, las propiedades fisicoquímicas de la extracción emergente resultaron mayores al convencional, 51.73% y 24.10%, respectivamente, lo que asegura la pureza y estabilidad del extracto final [33]. Así mismo, es importante mencionar que los métodos emergentes utilizaron un menor consumo de disolventes, permitiendo la disolución de los lípidos y la eliminación de la humedad presente en el residuo [20], y la temperatura no excedió los 60°C, evitando la desnaturalización de proteínas.

d. ¿Qué productos de alto valor comercial se han obtenido?

En la actualidad, algunas empresas utilizan el residuo de pescado para la elaboración de productos tales como harina o piensos, desarrollando así un enfoque sostenible [3,18,21]. Sin embargo, no se están obteniendo los resultados esperados, puesto que no son altamente comerciales [17]. En tal sentido, es conveniente buscar productos potenciales que puedan satisfacer las necesidades de los consumidores y tengan una alta demanda; de esa forma, podrá contribuir con la valorización de los residuos.

Energética	Biodiésel	Péptidos Bioactivos	[12], [47]
		PUFA n-3	
Farmacéutica	Hidrogeles	Hidrolizados de colágeno	[27], [39]
		Proteína	

Con relación a la Tabla VI, se muestran los compuestos bioactivos extraídos de los residuos de pescado, que permiten su utilización para la elaboración de productos novedosos, como es el caso del biodiésel, que es un producto sumamente rentable para la industria energética, y es elaborado a partir de la extracción del aceite de las vísceras y cabezas de pescado [12, 47]. Por otro lado, el compuesto más mencionado en los artículos es el colágeno de pescado, que presenta mayor eficiencia de absorción y no implica riesgos por transmisión de zoonosis en comparación con el colágeno extraído de los mamíferos [13, 14, 18, 22, 30, 31, 39, 40].

IV. DISCUSIÓN

El aprovechamiento de los residuos pesqueros representa una oportunidad para abordar desafíos relacionados con la contaminación, la utilización de técnicas inadecuadas y su falta de valorización. Desde una perspectiva ambiental, la gestión adecuada de recursos puede reducir la presencia de contaminantes que ponen en riesgo a la vida marítima [18]. Diferentes autores sostienen que es necesaria la implementación del enfoque de la economía circular, ya que permitirá la conversión de las materias primas a productos útiles para diversas aplicaciones en distintos sectores [13] [21] [23]; de esa forma se disminuirá la cantidad de desechos. Para lograrlo es necesario emplear las nuevas técnicas que permitirán mejorar la eficiencia y sostenibilidad del proceso de extracción del compuesto objetivo. Aunque son muchos los beneficios que trae, aún hay información limitada acerca de la implementación de tecnologías avanzadas que permitan la valorización de los residuos de pescado [34].

Con respecto a las tecnologías verdes, destaca su potencial para influir significativamente en la disminución de carga microbiana que posee el residuo y en la calidad de extracción [17]. Al presentar estas características beneficiosas, diferentes autores sostienen que la combinación de dos métodos emergentes permitirá mejorar aún más el rendimiento y reducir aquellos compuestos no deseados (bacterias patógenas, virus, etc.) [9]. Sin embargo, la aplicación presenta ciertas limitaciones, como la utilización de equipos especializados costosos y difíciles de manejar, que requieren una inversión significativa [9] [11].

Los métodos emergentes resultaron más eficientes en comparación con los métodos convencionales. Esta diferencia puede explicarse por las bajas temperaturas aplicadas que impiden la alteración de las propiedades funcionales del compuesto, los tiempos cortos de extracción y el mayor

TABLA VI
POTENCIAL USO DEL RESIDUO DE PESCADO EN LAS INDUSTRIAS

Industria	Oportunidad de uso	Componentes	Fuente
Alimentaria	Aceite de pescado,	Ácido graso (omega - 3)	[19], [21], [26], [29], [37], [38], [46]
		Péptidos Bioactivos	
		Vitamina D	
	Preservantes	Aminoácidos	
		Antioxidantes	
Suplementos proteicos	Proteína		
Cosmética,	Fármacos para regeneración de la piel	Colágeno	[13], [14], [18], [22], [30], [31], [39], [40]
Biomédica	Suplementos		
Agrícola	Fertilizante orgánico	Aminoácidos	[28], [41], [42], [48]
		Péptidos Bioactivos	
		Acido eicosapentaenoico (EDA)	
		Docosahexaenoico (DHA)	
		Lípidos	

control de la proliferación de microorganismos, debido a que las condiciones y disolventes utilizados han sido lo suficientemente eficientes para evitar que las bacterias presentadas en el residuo se propaguen [17]. A pesar de ello, entre los resultados obtenidos, hubo algunas comparaciones donde el rendimiento del método ecológico fue menor [33]. Este hallazgo coincide con Roy et al., donde el método emergente aplicado para la obtención de aceite (42.79%), fue menor al convencional (51.08%). Esto se debe a que el rendimiento dependerá del nivel de selectividad y efectividad que tiene el disolvente; en este caso se usó el n-hexano, que permite extraer varios tipos de lípidos como los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) [34]. No obstante, se puede considerar una limitación cuando se requiere un determinado componente objetivo de extracción, ya que no diferenciará.

Se evidencia que los residuos de pescado pueden ser utilizados para la elaboración de distintos productos, al tener un valor nutricional alto, como mayor contenido proteico, presencia de ácidos grasos esenciales, péptidos bioactivos, entre otros [3]. Sin embargo, Samarajeewa indica que los peces están constantemente expuestos a microorganismos y productos químicos en su hábitat natural, provocando que se vuelvan inseguros para el consumo humano, impidiendo así su utilización al ser considerados sumamente vulnerables a la actividad microbiana [18]. Han et al., también informaron que los océanos presentan altas concentraciones de metales tóxicos, producto de las actividades antropogénicas, donde predomina el cobre y el plomo, causando que los peces acumulen sustancias tóxicas en su organismo [43]. Asimismo, se considera que la aplicación de un tratamiento adecuado para la conservación y procesamiento del residuo que permita un control microbiano efectivo podrá garantizar la seguridad y calidad del producto [20].

V. CONCLUSIÓN

La valorización de los residuos de pescado representa una oportunidad para minimizar desafíos ambientales y mejorar la rentabilidad del sector pesquero. La conversión de los recursos a productos de alto valor agregado, mediante técnicas optimizadas de extracción, permitirá generar beneficios económicos.

En base a los artículos científicos analizados, se identificaron que los métodos emergentes aseguran la calidad de extracción, evidenciada por las bajas temperaturas aplicadas, el uso de disolventes ecológicos y el tiempo de extracción corto, que permite preservar la estructura del compuesto objetivo.

Los resultados recopilados mostraron que los métodos más eficientes para la extracción fueron los emergentes, como las técnicas de ultrasonido y fluido supercrítico, que alcanzaron tasas de extracción que oscilaron entre el 57.06% y el 40.87%, respectivamente.

Se logró determinar el considerable potencial del aprovechamiento de residuos de pescado, evidenciado por su contenido significativo de compuestos bioactivos, además de la utilidad en diferentes aplicaciones, que incluyen desde la industria alimentaria, cosmética, biomédica, agrícola, energética y farmacéutica.

Para futuros trabajos, se recomienda realizar más investigaciones con respecto a la manera en que las tecnologías verdes se pueden aplicar para lograr una extracción de forma eficiente y rentable en sectores industriales. También se recomienda realizar estudios adicionales para determinar cuáles son las condiciones óptimas, con la finalidad de incrementar el rendimiento y calidad del compuesto objetivo. De esta forma, se podrán proporcionar datos precisos y aplicables, que permitirán a las empresas diversificar sus líneas de productos y contribuir con el desarrollo sostenible.

REFERENCIAS

- [1] R. D. C. Sandaruwan, B. K. A. Bellanthudawa, I. J. J. U. N. Perera, K. A. S. Udayanga, y H. P. S. Jayapala, "Index based approach for assessment of abundance of marine debris and status of marine pollution in Kandakuliya, Kalpitiya, Sri Lanka", *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 197, p. 115724, dic. 2023, doi: 10.1016/j.marpolbul.2023.115724.
- [2] A. D. Padula et al., "Marine debris ingestion by odontocete species from the Southwest Atlantic Ocean: Absence also matter", *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 186, p. 114486, ene. 2023, doi: 10.1016/j.marpolbul.2022.114486.
- [3] D. Coppola, C. Lauritano, F. Palma Esposito, G. Riccio, C. Rizzo, y D. de Pascale, "Fish Waste: From Problem to Valuable Resource", *Mar. Drugs*, vol. 19, n.º 2, Art. n.º 2, feb. 2021, doi: 10.3390/md19020116.
- [4] C. L. Mgbechidimma, G. Zheng, E. B. Baguya, H. Zhou, S. U. Okon, y C. Zhang, "Fatty acid composition and nutritional analysis of waste crude fish oil obtained by optimized milder extraction methods", *Environ. Eng. Res.*, vol. 28, n.º 2, abr. 2023, doi: 10.4491/eer.2022.034.
- [5] V. Venugopal y A. Sasidharan, "Seafood industry effluents: Environmental hazards, treatment and resource recovery", *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 9, n.º 2, p. 104758, abr. 2021, doi: bio10.1016/j.jece.2020.104758.
- [6] "Effects of aquaculture waste feeds and antibiotics on marine benthic ecosystems in the Mediterranean Sea", *Sci. Total Environ.*, vol. 806, p. 151190, feb. 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.151190.
- [7] T. Zhang et al., "Recent understanding of stress response on muscle quality of fish: From the perspective of industrial chain", *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 140, p. 104145, oct. 2023, doi: 10.1016/j.tifs.2023.104145.
- [8] M. M. H. Mozumder et al., "Sustainable Utilization of Fishery Waste in Bangladesh—A Qualitative Study for a Circular Bioeconomy Initiative", *Fishes*, vol. 7, n.º 2, Art. n.º 2, abr. 2022, doi: 10.3390/fishes7020084.
- [9] F. Al Khawli et al., "Innovative Green Technologies of Intensification for Valorization of Seafood and Their By-Products", *Mar. Drugs*, vol. 17, n.º 12, Art. n.º 12, dic. 2019, doi: 10.3390/md17120689.
- [10] K. Korkmaz y B. Tokur, "Optimization of hydrolysis conditions for the production of protein hydrolysates from fish wastes using response surface methodology", *Food Biosci.*, vol. 45, p. 101312, feb. 2022, doi: 10.1016/j.fbio.2021.101312.
- [11] A. M. Ganjeh, J. A. Saraiva, C. A. Pinto, S. Casal, y A. M. S. Silva, "Emergent technologies to improve protein extraction from fish and seafood by-products: An overview", *Appl. Food Res.*, vol. 3, n.º 1, p. 100001, mar. 2021, doi: 10.1016/j.afres.2021.100001.
- [12] V. Anu Prasanna et al., "Fish Waste: A Potential Source of Biodiesel", *Fermentation*, vol. 9, n.º 9, Art. n.º 9, sep. 2023, doi: 10.3390/fermentation9090861.

- [13] S. Gaikwad y M. J. Kim, «Fish By-Product Collagen Extraction Using Different Methods and Their Application», *Mar. Drugs*, vol. 22, n.º 2, Art. n.º 2, feb. 2024, doi: 10.3390/md22020060.
- [14] «Exploring marine collagen: Sustainable sourcing, extraction methods, and cosmetic applications - ScienceDirect». Accedido: 17 de junio de 2024.
- [15] V. Venugopal, «Valorization of Seafood Processing Discards: Bioconversion and Bio-Refinery Approaches», *Front. Sustain. Food Syst.*, vol. 5, jun. 2021, doi: 10.3389/fsufs.2021.611835.
- [16] «Fish processing wastes: Environmental impacts and mitigation measures | Semantic Scholar». Accedido: 23 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/Fish-processing-wastes%3A-Environmental-impacts-and-Bhattacharya-C./28bc790828a9a7c4ec99dbf6091510db99ebda47>
- [17] «Comparing Efficiency of Green Methods for Surimi Skin and Bone Gelatin Extraction». Accedido: 17 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.foodandnutritionjournal.org/volume11number2/comparing-efficiency-of-green-methods-for-surimi-skin-and-bone-gelatin-extraction/>
- [18] U. Samarajeewa, «Safety, Processing, and Utilization of Fishery Products», *Fishes*, vol. 9, n.º 4, Art. n.º 4, abr. 2024, doi: 10.3390/fishes9040146.
- [19] R. G. G. Ortizo *et al.*, «Extraction of Novel Bioactive Peptides from Fish Protein Hydrolysates by Enzymatic Reactions», *Appl. Sci.*, vol. 13, n.º 9, Art. n.º 9, ene. 2023, doi: 10.3390/app13095768.
- [20] A. C. Kumoro, D. H. Wardhani, T. D. Kusworo, M. Djaeni, T. C. Ping, y Y. Ma'rifat Fajar Azis, «Fish protein concentrate for human consumption: A review of its preparation by solvent extraction methods and potential for food applications», *Ann. Agric. Sci.*, vol. 67, n.º 1, pp. 42-59, jun. 2022, doi: 10.1016/j.aos.2022.04.003.
- [21] M. Rodrigues *et al.*, «Omega-3 fatty acids from fish by-products: Innovative extraction and application in food and feed», *Food Bioprod. Process.*, vol. 145, pp. 32-41, may 2024, doi: 10.1016/j.fbp.2024.02.007.
- [22] H. Jafari *et al.*, «Fish Collagen: Extraction, Characterization, and Applications for Biomaterials Engineering», *Polymers*, vol. 12, n.º 10, Art. n.º 10, oct. 2020, doi: 10.3390/polym12102230.
- [23] N. Valério, M. Soares, C. Vilarinho, M. Correia, y J. Carvalho, «Diving into Fish Valorisation: Review Opportunities and Analyzing Azorean Fish Data», *Processes*, vol. 11, n.º 7, Art. n.º 7, jul. 2023, doi: 10.3390/pr11071998
- [24] J. Pinela *et al.*, «Upcycling Fish By-Products into Bioactive Fish Oil: The Suitability of Microwave-Assisted Extraction», *Biomolecules*, vol. 13, n.º 1, Art. n.º 1, ene. 2023, doi: 10.3390/biom13010001.
- [25] S. Pezeshk, M. Rezaei, y M. Abdollahi, «Impact of ultrasound on extractability of native collagen from tuna by-product and its ultrastructure and physicochemical attributes», *Ultrason. Sonochem.*, vol. 89, p. 106129, sep. 2022, doi: 10.1016/j.ultsonch.2022.106129.
- [26] «Ultrasound- and Microwave-Assisted Extractions Facilitate Oil Recovery from Gilthead Seabream (*Sparus aurata*) By-Products and Enhance Fish Oil Quality Parameters - Keskin Çavdar - 2023 - European Journal of Lipid Science and Technology - Wiley Online Library». Accedido: 17 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ejlt.202200089>.
- [27] X. Deng *et al.*, «Ultrasonic structural modification of myofibrillar proteins from *Coregonus peled* improves emulsification properties», *Ultrason. Sonochem.*, vol. 76, p. 105659, ago. 2021, doi: 10.1016/j.ultsonch.2021.105659.
- [28] M. Wang, J. Zhou, M. C. Collado, y F. J. Barba, «Accelerated Solvent Extraction and Pulsed Electric Fields for Valorization of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Sole (Dover sole) By-Products: Protein Content, Molecular Weight Distribution and Antioxidant Potential of the Extracts», *Mar. Drugs*, vol. 19, n.º 4, Art. n.º 4, abr. 2021, doi: 10.3390/md19040207.
- [29] D. Franco *et al.*, «Application of Pulsed Electric Fields for Obtaining Antioxidant Extracts from Fish Residues», *Antioxidants*, vol. 9, n.º 2, Art. n.º 2, feb. 2020, doi: 10.3390/antiox9020090.
- [30] «Gastrointestinal delivery of codfish Skin-Derived collagen Hydrolysates: Deep eutectic solvent extraction and bioactivity analysis - ScienceDirect». Accedido: 17 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996923012772?via%3Dihub>
- [31] S. Phon, A. L. Pradana, y S. P. Thanasupsin, «Recovery of Collagen/Gelatin from Fish Waste with Carbon Dioxide as a Green Solvent: An Optimization and Characterization», *Recycling*, vol. 8, n.º 2, Art. n.º 2, abr. 2023, doi: 10.3390/recycling8020030.
- [32] R. Thirukumar, V. K. Anu Priya, S. Krishnamoorthy, P. Ramakrishnan, J. A. Moses, y C. Anandharamkrishnan, «Resource recovery from fish waste: Prospects and the usage of intensified extraction technologies», *Chemosphere*, vol. 299, p. 134361, jul. 2022, doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.134361.
- [33] «Supercritical CO2 extraction and quality comparison of lipids from Yellowtail fish (*Seriola quinqueradiata*) waste in different conditions - Franklin - 2020 - Journal of Food Processing and Preservation - Wiley Online Library». Accedido: 17 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jfpp.14892>
- [34] «Marine Drugs | Free Full-Text | Lipid Indexes and Quality Evaluation of Omega-3 Rich Oil from the Waste of Japanese Spanish Mackerel Extracted by Supercritical CO2». Accedido: 8 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1660-3397/20/1/70>
- [35] B. de la Fuente *et al.*, «Sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and sea bream (*Sparus aurata*) head oils recovered by microwave-assisted extraction: Nutritional quality and biological properties», *Food Bioprod. Process.*, vol. 136, pp. 97-105, nov. 2022, doi: 10.1016/j.fbp.2022.09.004.
- [36] M. P. Batista, N. Fernández, F. B. Gaspar, M. do R. Bronze, y A. R. C. Duarte, «Extraction of Biocompatible Collagen From Blue Shark Skins Through the Conventional Extraction Process Intensification Using Natural Deep Eutectic Solvents», *Front. Chem.*, vol. 10, jun. 2022, doi: 10.3389/fchem.2022.937036.
- [37] S. R. Ramakrishnan, C.-R. Jeong, J.-W. Park, S.-S. Cho, y S.-J. Kim, «A review on the processing of functional proteins or peptides derived from fish by-products and their industrial applications», *Heliyon*, vol. 9, n.º 3, mar. 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e14188.
- [38] A. Tsoupras, C. Brummell, C. Kealy, K. Vitkaitis, S. Redfern, y I. Zabetakis, «Cardio-Protective Properties and Health Benefits of Fish Lipid Bioactives; The Effects of Thermal Processing», *Mar. Drugs*, vol. 20, n.º 3, Art. n.º 3, mar. 2022, doi: 10.3390/md20030187.
- [39] W. N. S. A. Rahman, M. F. M. Nordin, y A. H. M. Syarif, «Extraction of local fish waste by subcritical water», *Malays. J. Fundam. Appl. Sci.*, vol. 15, n.º 5, Art. n.º 5, oct. 2019, doi: 10.11113/mjfas.v15n5.1450
- [40] «Extraction and Characterization of Bioactive Fish By-Product Collagen as Promising for Potential Wound Healing Agent in Pharmaceutical Applications: Current Trend and Future Perspective - Oslan - 2022 - International Journal of Food Science - Wiley Online Library». Accedido: 17 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2022/9437878>
- [41] P. Barea, R. Melgosa, Ó. Benito-Román, A. E. Illera, S. Beltrán, y M. T. Sanz, «Green fractionation and hydrolysis of fish meal to improve their techno-functional properties», *Food Chem.*, vol. 452, p. 139550, sep. 2024, doi: 10.1016/j.foodchem.2024.139550.
- [42] Y. Dinakarkumar, S. Krishnamoorthy, G. Margavelu, G. Ramakrishnan, y M. Chandran, «Production and characterization of fish protein hydrolysate: Effective utilization of trawl by-catch», *Food Chem. Adv.*, vol. 1, p. 100138, oct. 2022, doi: 10.1016/j.focha.2022.100138.
- [43] X. Han, J. Wang, W. Cai, X. Xu, y M. Sun, «The Pollution Status of Heavy Metals in the Surface Seawater and Sediments of the Tianjin Coastal Area, North China», *Int. J. Environ. Res. Public. Health*, vol. 18, n.º 21, Art. n.º 21, ene. 2021, doi: 10.3390/ijerph182111243.
- [44] R. Melgosa, M. T. Sanz, y S. Beltrán, «Supercritical CO2 processing of omega-3 polyunsaturated fatty acids - Towards a biorefinery for fish waste valorization», *J. Supercrit. Fluids*, vol. 169, p. 105121, feb. 2021, doi: 10.1016/j.supflu.2020.105121.
- [45] F. Arfelli *et al.*, «Prospective life cycle assessment for the full valorization of anchovy fillet leftovers: The LimoFish process», *Waste Manag.*, vol. 168, pp. 156-166, ago. 2023, doi: 10.1016/j.wasman.2023.06.002.

- [46] K. Kvangarsnes *et al.*, «Physicochemical and functional properties of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) hydrolysate», *Heliyon*, vol. 9, n.º 7, jul. 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e17979.
- [47] C. M. Agu *et al.*, «Biodiesel production from waste cat fish oil using heterogeneous catalyst from cat fish born: A viable waste management approach, and ANN modeling of biodiesel yield», *Waste Manag. Bull.*, vol. 1, n.º 4, pp. 172-181, mar. 2024, doi: 10.1016/j.wmb.2023.11.002.
- [48] I. Ahuja, E. Dauksas, J. F. Remme, R. Richardsen, y A.-K. Løes, «Fish and fish waste-based fertilizers in organic farming – With status in Norway: A review», *Waste Manag.*, vol. 115, pp. 95-112, sep. 2020, doi: 10.1016/j.wasman.2020.07.025.
- [49] «Ultrasound-assisted extraction of collagen from clown featherback (*Chitala ornata*) skin: yield and molecular characteristics - PubMed». Accedido: 15 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32691872/>