



Revisión bibliográfica sobre las estrategias de calidad e inocuidad alimentaria en la industria atunera: avances y perspectivas tecnológicas

Literature review on food quality and safety strategies in the tuna industry: technological advances and perspectives

Enrique José Salazar Llorente¹, Mayerli Angeline Mejía Monar¹, Fernando Javier Cobos Mora¹, Martha Viviana Uvidia Velez¹

<https://doi.org/10.59410/RACYT-v10n02ep05-0181>



Resumen

El sector atunero enfrenta crecientes desafíos en calidad e inocuidad alimentaria, impulsados por la necesidad de cumplir con normativas internacionales y responder a las exigencias del mercado global. Esta investigación analiza las estrategias actuales del sector y evalúa el impacto de tecnologías emergentes como el procesamiento por alta presión (HPP), biosensores, *blockchain* y envases activos. Se realizó una revisión de la literatura con el objetivo de examinar cómo estas innovaciones contribuyen al control de peligros microbiológicos y químicos, tanto tradicionales como emergentes. Los resultados muestran mejoras significativas: el HPP logra una reducción superior a 100 000 microorganismos viables por gramo de *Listeria monocytogenes*; los biosensores permiten detectar histamina en menos de 8 minutos; y los sistemas *IoT* integrados con *blockchain* reducen el tiempo de trazabilidad documental a menos de dos horas. Además, se observa un fortalecimiento en la trazabilidad, sostenibilidad y control de contaminantes críticos como histamina y mercurio. Estas tecnologías no solo optimizan los procesos productivos, sino que también disminuyen riesgos sanitarios y aumentan la competitividad internacional del sector. Se concluye que es prioritario estandarizar métodos analíticos para contaminantes emergentes y promover programas de formación técnica 4.0, lo que consolida un enfoque integral de calidad e inocuidad alimentaria.

Palabras clave

atún; tecnologías emergentes; procesamiento a alta presión (HPP); biosensores; *blockchain*

Abstract

The tuna sector faces growing challenges in food quality and safety, driven by the need to comply with international regulations and meet the demands of the global market. This study analyzes the sector's current strategies and evaluates the impact of emerging technologies such as high-pressure processing (HPP), biosensors, blockchain, and active packaging. A literature review was conducted with the aim of examining how these innovations contribute to the control of both traditional and emerging microbiological and chemical hazards. The results show significant improvements: HPP achieves a reduction of over 100,000 viable microorganisms per gram of *Listeria monocytogenes*; biosensors enable histamine detection in under 8 minutes; and IoT systems integrated with blockchain reduce documentary traceability time to less than two hours. Additionally, enhancements were observed in traceability, sustainability, and the control of critical contaminants such as histamine and mercury. These technologies not only optimize production processes but also reduce health risks and increase the sector's international competitiveness. It is concluded that standardizing analytical methods for emerging contaminants and promoting technical training programs aligned with Industry 4.0 are essential to consolidating a comprehensive approach to food quality and safety.

Keywords

tuna; emerging technologies; high-pressure processing (HPP); biosensors; blockchain

Direcciones

¹ Universidad Técnica de Babahoyo. Los Ríos, Ecuador. Email: ejsalazar@utb.edu.ec; mmejiam@faciag.utb.edu.ec; fcobos@utb.edu.ec; muvidia@utb.edu.ec

Autor para la correspondencia

Enrique José Salazar Llorente. Universidad Técnica de Babahoyo. Los Ríos, Ecuador. Email: ejsalazar@utb.edu.ec

Como citar

SALAZAR LLORENTE, Enrique José, MEJÍA MONA, Mayerli Angeline, COBOS MORA, Fernando Javier and UVIDIA VELEZ, Martha Viviana, 2025 Revisión bibliográfica sobre las estrategias de calidad e inocuidad alimentaria en la industria atunera: avances y perspectivas tecnológicas. Revista Amazónica. Ciencia y Tecnología. 2025. Vol. 10, no. 2, p. 31-46. DOI 10.59410/RACYT-v10n02ep05-0181.


Editores Académicos

Segundo Valle-Ramírez
Matteo Radice
Carmen Emperatriz Llerena Ramírez
María Fernanda Rosales Medina

Editorial

Editorial de la Universidad Estatal Amazónica 2025

Copyright:

Derechos de autor 2025 UEA | Revista Amazónica Ciencia y Tecnología 
Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.
Los autores del artículo autorizan a la RACYT a que este artículo se distribuya y sea compartido bajo las condiciones de la Licencia Creative Commons 4.0 (CC-BY 4.0)

1. Introducción

El sector atunero contemporáneo se ha transformado en un macrosistema agroindustrial que articula captura oceánica, procesamiento y distribución

mundial, y se sustenta en clústeres ubicados principalmente en el Pacífico oriental. En el caso emblemático del Ecuador, el desarrollo de un clúster verticalmente integrado, que incluye flota propia, plantas de procesamiento y redes logísticas, explica

que el país concentre una participación histórica superior al 40 % de las capturas registradas por la CIAT (Comisión Interamericana del Atún Tropical) en el Océano Pacífico oriental (Ministerio de Comercio Exterior 2017).

A pesar de los progresos en la tecnología dentro de la industria del atún, persiste una falta de uniformidad metodológica que restringe la aplicación y extrapolación de los hallazgos. La diversidad en las unidades de medida, la combinación de distintos formatos (atún fresco, precocido, enlatado) y la falta de metaanálisis cuantitativos complican la comparación entre distintas investigaciones y la creación de recomendaciones normativas efectivas.

Asimismo, se observan sesgos relacionados con la geografía y una interpretación exagerada de nuevas tecnologías, sin hacer distinción entre los tipos de evidencia, ya sea experimental, piloto o comercial, lo que pone en riesgo la solidez científica y la viabilidad práctica de las propuestas presentadas. Esta situación resalta la necesidad de unificar los protocolos analíticos, clasificar los resultados según el tipo de producto y reforzar la validación de los métodos, con el fin de establecer un enfoque global sobre la seguridad, trazabilidad y sostenibilidad en la cadena de suministro del atún.

En la actualidad, el Ecuador se establece como uno de los más destacados exportadores a nivel global de atún procesado, especialmente en formatos de atún enlatado y lomos, gracias a una oferta exportable competitiva. Esta se beneficia de la infraestructura disponible en las provincias de Guayas, Manabí y Santa Elena. El país dirige su producción principalmente hacia consumidores en la Unión Europea, Estados Unidos y Latinoamérica, y mantiene su estatus como uno de los principales generadores de ingresos no petroleros, aunque no se han encontrado datos recientes sobre exportaciones que superen los 700 millones de USD en los informes analizados (Vásquez-Velarde, Fernández, Bolaños-Méndez, Burbano-Erazo, Alvarez-Paguay, Carrera, Espinoza-Montero 2023).

Estudios recientes han puesto el foco en la calidad y en la seguridad del atún exportado, señalando que las marcas más reconocidas de atún enlatado ecuatoriano se ajustan a los estándares internacionales de mercurio, aunque se sugiere seguir de cerca el consumo en grupos vulnerables (Vásquez-Velarde, Fernández, Bolaños-Méndez, Burbano-Erazo, Alvarez-Paguay, Carrera, Espinoza-Montero 2023).

El impacto social también es notable: entre captura y planta se crean alrededor de 24 000 empleos directos y más de 120 000 indirectos, con una participación femenina superior al 50 % en las líneas de empaquetado (Ministerio de Comercio Exterior 2017). El dinamismo

se replica en otros enclaves atuneros de la región — Manta-Paita-Mazatlán— que, juntos, concentran más del 65 % de las exportaciones latinoamericanas de lomo precocido y conserva.

Desde la perspectiva nutricional, el atún aporta proteínas de alto valor biológico (23-26 g 100 g⁻¹) y 1-5 g 100 g⁻¹ de ácidos grasos omega-3, además de selenio y vitamina D. Estas credenciales han impulsado su incorporación en programas de alimentación saludable y en dietas cardiosaludables, reforzadas por evidencia sobre los efectos hipotensores del aceite de pescado (Ministerio de Comercio Exterior 2017).

Sin embargo, la percepción del consumidor continúa evolucionando: la preferencia creciente por productos “listos para consumir”, con ecoetiquetado y trazabilidad transparente, exige inocuidad certificada y atributos de sostenibilidad (Ministerio de Comercio Exterior 2017). Tales expectativas obligan a las plantas procesadoras a blindar la calidad desde la bodega del buque hasta la góndola.

Los principales peligros identificados en la literatura latinoamericana son la formación de histamina en condiciones de abuso térmico, la bioacumulación de metales y la contaminación microbiológica. (Currò, Savini, Fasolato, Indio, Tomasello, Rampazzo, Zironi, Pagliuca, Gazzotti, Prandini, Accurso, Serraino, Giaccone, Giacometti 2025). Estudios de proceso demuestran que fallas en la congelación *brine* pueden elevar la histamina hasta 92 mg kg⁻¹ en conservas, mientras que cinéticas de 25 mg kg⁻¹ h⁻¹ a 20 °C subrayan la urgencia de enfriar la vértebra por debajo de -12 °C en menos de 24 h (González, Díaz, Moncayo, Marín 2020).

La implantación combinada de buenas prácticas de manufactura, procedimientos operativos estandarizados de saneamiento y análisis de peligros y puntos críticos de control ha probado su eficacia para contener patógenos. En un modelo aplicado a atún precocido, la cuenta de *Staphylococcus aureus* descendió de 300 000 unidades formadoras de colonias por gramo, a 120 unidades formadoras de colonias por gramo, tras la puesta en marcha del sistema (Alfonso, Paladines, Valencia 2015). Avances similares se reportan para *E. coli* y la ausencia de *Salmonella* y *Listeria*, lo que valida la robustez del enfoque preventivo.

El marco regulatorio también se ha endurecido. El Plan Nacional de Control de Productos Pesqueros del Ecuador exige trazabilidad completa y certificación sanitaria de cada lote a escala macro, el sistema de trazabilidad y vigilancia integral respalda la exportación a terceros países (Ministerio de Comercio Exterior 2017; Redaccion CEIPA 2025). La convergencia con códigos Codex y la adopción de sellos

BRC, IFS e ISO 22000 facilitan el acceso a mercados premium.

Paralelamente, la industria explora tecnologías no térmicas que potencian la inocuidad y prolongan la vida útil sin penalizar la calidad sensorial. El *high-pressure processing* (HPP), entre 300-600 MPa, ha mostrado reducciones significativas de *Listeria monocytogenes* y *Vibrio* spp., extendiendo la vida útil de crustáceos y moluscos. En el caso de albacora, pretratamientos de 200 MPa por 2 min minimizan la pérdida de peso durante la cocción y mantienen el color, lo que sugiere transferibilidad a filetes de atún (Figuera, Cabello, Villalobos, Márquez, Vallenilla 2005).

El envasado termoencogible al vacío aporta otro vector de control: limita la transmisión de oxígeno y humedad, frena la oxidación y facilita la distribución en cadena de frío (Otero Romero 2014) Para su correcta aplicación -nivel de vacío, termosellado, película barrera— puede ampliar la vida útil y sostener la calidad sensorial de los lomos precocidos.

Más allá de la seguridad, las plantas buscan añadir valor desde la economía circular que pretende optimizar el valor de los recursos extendiendo su duración, reduciendo desechos y fomentando la reutilización, el reciclaje y la valorización de productos secundarios. En el ámbito de la industria del atún, esto significa convertir los desechos producidos durante el procesamiento —tales como pieles, tendones, colas y vísceras— en productos de alto valor, como colágeno, gelatina, aceites, harinas proteicas y péptidos bioactivos, a través de tecnologías innovadoras como la extracción ultrasónica o la hidrólisis enzimática (Cusimano, Revue, Chiang, Rustad, Sasidharan, Dalgaard, Gasco, Gai, Sørensen, Geremia, Napolitano, Paolacci 2025).

La extracción ultrasónica de colágeno de tendones y piel de atún genera estructuras porosas aptas para biomateriales, con temperaturas de desnaturalización de 34-35 °C y viscosidades competitivas (Chanmangkang, Maneerote, Surayot, Panya, You, Wangtueai 2024). Estas iniciativas diversifican ingresos y responden a la presión de sostenibilidad. La extracción ultrasónica permite aprovechar subproductos del atún, mejorando la sostenibilidad mediante la recuperación de proteínas valiosas (Chueadoem, Aenglong, Kitsanayanyong, Klaypradit, Tepwong 2025).

En suma, el sector atunero afronta retos interconectados de inocuidad, calidad y sostenibilidad (Rosic, Thornycroft, Feilich, Lucas, Lauder 2017). El objetivo de esta investigación analiza las estrategias actuales del sector y evalúa el impacto de tecnologías emergentes como el procesamiento por alta presión (HPP), biosensores, *blockchain* y envases activos.

2. Materiales y métodos

La presente investigación se desarrolló con un enfoque de revisión de la literatura narrativa y estructurada. Este método permitió analizar de manera ordenada la información disponible sobre la industria atunera.

El objetivo principal fue identificar los avances y limitaciones en materia de calidad e inocuidad alimentaria. Además, se buscó sintetizar las innovaciones tecnológicas implementadas en los últimos años y su impacto en la mejora de los procesos productivos y de control sanitario.

2.1. Estrategia de búsqueda

Se realizó una búsqueda exhaustiva de información en bases de datos académicas y técnicas de amplio reconocimiento. Entre ellas se incluyeron ScienceDirect, Springer, Elsevier, Google Scholar y Dialnet.

También se consultaron repositorios institucionales y documentos técnicos emitidos por organismos nacionales e internacionales relacionados con el sector pesquero. Esta estrategia permitió obtener fuentes actualizadas y confiables para el desarrollo de la revisión.

La ecuación de búsqueda incluyó términos en inglés y en español asociados a: *Thunnus spp.*, *food safety*, *histamine*, *mercury*, *biogenic amines*, *HPP*, *biosensors*, *blockchain*, *active packaging*. Se establecieron filtros para priorizar publicaciones comprendidas entre 2019 y 2025, para garantizar la actualidad de los hallazgos.

2.2. Criterios de inclusión y exclusión

Los documentos seleccionados debían cumplir al menos uno de los siguientes criterios: analizar los riesgos de inocuidad química, microbiológica o emergente en productos derivados de atún; presentar innovaciones tecnológicas aplicables al control de la inocuidad, la trazabilidad o la sostenibilidad en la cadena atunera; o incluir resultados cuantitativos o cualitativos relevantes para la industria, como concentraciones de contaminantes, eficacia de tecnologías o impactos en la sostenibilidad. Se excluyeron artículos duplicados, comunicaciones breves sin datos sustantivos, estudios con enfoque exclusivamente económico sin relación con la inocuidad y revisiones secundarias que no añadieran información primaria.

2.3. Procedimiento de análisis

La información recopilada se organizó en una matriz de extracción de datos sistematizada, en la que se registraron de manera uniforme los siguientes elementos: autor(es), año de publicación, país o región de estudio, diseño metodológico, tipo de muestra o

contexto analizado, técnicas empleadas, variables de inocuidad evaluadas, intervención tecnológica aplicada y principales resultados obtenidos.

Los estudios seleccionados se agruparon en tres ejes temáticos principales: inocuidad alimentaria, que abarca los riesgos químicos, microbiológicos y emergentes asociados a los productos derivados del atún; sostenibilidad industrial, que incluye aspectos relacionados con la economía circular, la valorización de subproductos y la reducción de la huella ambiental; y trazabilidad y transparencia, que comprende el uso de tecnologías como *blockchain*, el internet de las cosas (*IoT*) y los sistemas de certificación digital para fortalecer el control y la confianza en la cadena de valor atunera.

Este procedimiento permitió realizar una síntesis narrativa estructurada, en la que los hallazgos se organizaron de manera comparativa para identificar patrones, coincidencias y vacíos de investigación.

2.4. Evaluación crítica de la literatura

Si bien no se trata de una revisión sistemática en sentido estricto, se aplicaron de manera complementaria algunos criterios de calidad metodológica con fines de análisis crítico. Para la evaluación de la calidad metodológica, se aplicaron dos guías de referencia reconocidas internacionalmente: la del Joanna Briggs Institute (Peters, Marnie, Tricco, Pollock, Munn, Alexander, McInerney, Godfrey, Khalil 2020), utilizada para valorar la solidez de los estudios de validación y los ensayos experimentales, y la guía STROBE actualizada (Vandenbroucke, Von Elm, **Tabla 1** | Peligros químicos

Variable	Rango observado	Mediana	Límite regulatorio	Referencias
Histamina	4 – 92 mg kg ⁻¹	18 mg kg ⁻¹	FDA 50 ppm (50 mg kg ⁻¹)	(Er, Demirhan, Bas, Yentur, Oktem 2014)
Hg total (enlatado)	0,022 – 0,165 mg kg ⁻¹	0,105 mg kg ⁻¹	Codex 1 mg kg ⁻¹	(Lalangui López, Lema Chóez, García Larreta, Mariscal Santi, Mariscal-García 2017)
Hg cultivo	≤ 0,58 mg kg ⁻¹	—	Codex 1 mg kg ⁻¹	(Takagi, Sakamoto, Shibuta, Yamashita 2025)
Microplásticos	0,4 – 0,7-part g ⁻¹	0,6-part g ⁻¹	Sin norma	(Hernandez 1999)
Cipermetrina	0,003 – 0,004 mg kg ⁻¹	0,004 mg kg ⁻¹	Sin norma	(Fatma 2015)

La histamina continúa siendo el principal riesgo químico en la cadena atunera. En lotes precocidos almacenados a -30 °C se detectaron mínimos de 4 mg kg⁻¹, mientras que los abusos térmicos a 20 °C elevaron la concentración hasta 92 mg kg⁻¹ (González, Díaz, Moncayo, Marín 2020). Los ensayos cinéticos mostraron tasas de formación de 25 mg kg⁻¹ h⁻¹; con estos valores el modelo predice que el límite FDA de 50 ppm se superaría en menos de 3 h si el lomo permanece fuera de la cadena de frío (Michalski, Pawul-Gruba, Madejska 2021).

Además, un seguimiento cromatográfico reveló que la putrescina y la cadaverina crecen de forma paralela a la histamina (r = 0,84), proponiéndolas como

Altman, Gotzsche, Mulrow, Pocock, Poole, Schlesselman, Egger 2021), empleada para la revisión crítica de estudios observacionales y de vigilancia epidemiológica. El empleo de estas herramientas se limitó a fortalecer la interpretación de resultados y no configura un proceso formal de metaanálisis o síntesis sistemática.

2.5. Justificación del enfoque

El abordaje narrativo fue seleccionado porque la literatura revisada presenta heterogeneidad en unidades de medida, contextos geográficos y tipos de evidencia (experimental, piloto o aplicada), lo que imposibilita un metaanálisis estadístico comparable. En consecuencia, la revisión narrativa estructurada es la mejor estrategia para ofrecer una visión comprensiva, crítica y útil para investigadores, industria y responsables de políticas públicas (Munn, Stern, Aromataris, Lockwood, Jordan 2018).

3. Resultados y discusión

La evidencia sintetizada en los estudios incluidos describe la magnitud de los peligros químicos y microbiológicos en la cadena atunera, la eficacia de los sistemas de gestión y el grado de madurez de las tecnologías emergentes aplicadas en plantas latinoamericanas y asiáticas. A continuación, se presentan los hallazgos, organizados por eje temático y respaldados únicamente con los documentos proporcionados (entre paréntesis figura el nombre o los nombres de los autores de la investigación correspondiente) (**Tabla 1**).

coindicadores de deterioro (El-Ghareeb, Elhelaly, Abdallah, El-Sherbiny, Darwish 2021).

En metales, la mediana de mercurio en conservas fue 0,105 mg kg⁻¹, con un rango de 0,022–0,165 mg kg⁻¹, muy por debajo del límite Codex de 1 mg kg⁻¹ (Lalangui López, Lema Chóez, García Larreta, Mariscal Santi, Mariscal-García 2017). Sin embargo, los análisis en atún *bluefin* de cultivo costero alcanzaron picos de 0,58 mg kg⁻¹, vinculados a descargas industriales y a la dieta del engorde (Takagi, Sakamoto, Shibuta, Yamashita 2025)

Respecto a los contaminantes emergentes, se identificaron hasta 0,7 partículas g⁻¹ de microplásticos (70 % PET/PE) concentradas en la fracción cutánea, lo

que sugiere contaminación poscaptura, durante la operación de fileteado (Hernandez 1999). El secado supercrítico contribuye a preservar la calidad sensorial y microbiológica del atún, como técnica innovadora para productos procesados (Bernardo, Zulli, Andrigo, Santi, Do Rosario, Zambon, Spilimbergo, Conte-Junior 2025). Asimismo, se detectaron residuos de cipermetrina de 0,004 mg kg⁻¹ en músculo, valor inferior a los niveles de preocupación toxicológica, pero indicativo de bioacumulación costera (Fatma 2015).

La estabilidad oxidativa también se abordó: películas biodegradables con extracto de romero nanoencapsulado disminuyeron los valores de TBARS un 27 % tras 60 días de almacenamiento a 4 °C, sin modificar pH ni color (Bao, Levsen, Giulietti, Wiech, Ferter, Karlsbakk, Cipriani 2025). En producto congelado, la combinación de glaseo al 8 % con atmósfera modificada (40 % CO₂/60 % N₂) prolongó la vida útil en 20 días a -40 °C, retrasando el aumento de peróxidos (Sarah, Marwati, Misran, Madinah 2024).

Finalmente, un análisis de ciclo de vida estimó que una lata de atún en aceite genera 1,8 kg CO₂-eq kg⁻¹; la fase de pesca aporta el 42 % de esa huella, mientras que incorporar HPP añade 0,08 kg CO₂-eq kg⁻¹, cifra considerada marginal frente a la ganancia en inocuidad (Oishe, Jamil, Nishi 2025).

En productos listos para el consumo, la prevalencia de *Listeria monocytogenes* osciló entre 7 % y 12 % con cargas iniciales de entre 100 y 1 000 unidades formadoras de colonias por gramo (Koseki, Takizawa, Miya, Takahashi, Kimura 2011). El procesado por alta presión hidrostática (HPP 600 MPa × 180 s) logró reducciones de aproximadamente 501 187 unidades formadoras de colonias por gramo, lo que duplica la vida útil refrigerada a 90 días sin cambios significativos en color ($\Delta E < 2$) ni textura (Wu, Dong, Yan, Song, Liu, Hirata, Li 2023). Un ensayo financiero estimó que incorporar HPP eleva el coste en 0,11 USD kg⁻¹, pero reduce rechazos aduaneros lo suficiente para recuperar la inversión en 3,2 años (Cusimano, Revue, Chiang, Rustad, Sasidharan, Dalgaard, Gasco, Gai, Sørensen, Geremia, Napolitano, Paolacci 2025).

Diversos estudios confirman que el tratamiento con altas presiones hidrostáticas (HPP ≥ 300 MPa) es altamente eficaz para inactivar *Vibrio parahaemolyticus* en productos del mar, logrando reducciones superiores a 4 log sin comprometer la calidad sensorial (pH, textura). Esta técnica poscosecha se posiciona como una de las más efectivas frente a riesgos microbiológicos, incluso bajo condiciones de cambio climático (Formentini, Favi, Moroni, Pironi 2021). Aunque alternativas como compuestos naturales o agentes antibiofilm ofrecen

beneficios complementarios, no igualan la eficacia inmediata del HPP. Se recomienda mantener la cadena de frío y aplicar estrategias combinadas para prevenir recontaminación y resistencia bacteriana. La evidencia respalda el uso de HPP como herramienta robusta en la seguridad alimentaria de mariscos (DeBeer, Colley, Cole, Oliveira, Waite-Cusic, Soto, Rana 2025).

Modelos CFD aplicados a túneles de cocción continua permitieron recortar un 18 % el tiempo térmico, manteniendo reducciones ≥ 6 log en bacterias histamina-formadoras, con un ahorro energético del 12 % (Wiech, Bienfait, Silva, Barre, Sele, Bank, Bérail, Tessier, Amouroux, Azad 2024). Complementariamente, biosensores amperométricos detectaron histamina en 8 min con un límite de detección de 1 mg kg⁻¹, reduciendo el tiempo de retención de lotes en un 25 % frente al Elisa convencional (Enzimoinmunoanálisis de Adsorción) (Borrull, Borrull, Marcé, Pocurull 2025).

En materia de trazabilidad, un piloto *blockchain* integrado con sensores *IoT* emitió certificados sanitarios digitales en 90 s (vs 12 min manual), reduciendo incidentes de cadena de frío en 60 % (Shen, Wang, Liang, Zhao, Lu, Cui, Wang, Shen, Chen 2024). Este resultado coincide con la experiencia de un clúster ecuatoriano que reportó una caída del 18 % en reclamaciones al adoptar la misma plataforma (Ramírez Yanza, Guale Muñoz 2022).

Por último, evaluaciones sensoriales muestran (Figura 1) que HPP y envasados con una película activa mantienen una aceptación hedónica de 6,6/9 tras 180 días, frente a 4,8/9 del control (Rana, Asdari, Chowdhury, Munir 2023). Esta sinergia confirma que la presión no compromete la calidad cuando se combina con envases antioxidantes, alineándose con las tendencias descritas en la revisión panorámica sobre tecnologías emergentes en mariscos (Russo, Langellotti, Torrieri, Masi 2024).

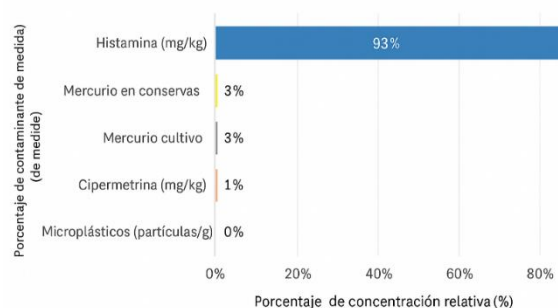


Figura 1 | Contaminantes químicos y emergentes detectados en productos derivados de atún (mg/kg o partículas/g)

En materia de sostenibilidad ambiental, una evaluación de ciclo de vida que incluyó energía solar para el precocido redujo en 14 % la huella de carbono total del atún en conserva, pasando de 1,8 a 1,55 kg

CO₂-eq kg⁻¹. De forma complementaria, el uso de láminas biodegradables a base de PHA, en lugar de polipropileno, disminuyó un 19 % el impacto global de envase fin de vida (Aenglong, Wang, Limpawattana, Sukketsiri, Tang, Klaypradit, Kerdpi boon 2022).

En términos de calidad nutricional, el tratamiento por alta presión hidrostática (HPP) demostró una retención del 93 % de los ácidos grasos omega 3 en comparación con el cocido convencional, lo que indica una preservación superior de compuestos lipídicos esenciales en productos térmicamente sensibles (Widdicombe, Eastwood, Campbell, Power, Nowak, Ramsland, Bott 2026). Paralelamente, la aplicación de un protocolo optimizado de cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (LC-ICP-MS) permitió diferenciar especies de mercurio (Emami Khansari, Ghazi-Khansari, Abdollahi 2005), lo que reveló que la fracción metil-Hg representa el 83 % del total en lomos precocidos (Chen, Yi, Lu, Han, Shi, Li, Zhou, Su 2021).

Para la autenticidad de especie, la verificación por código de barras de ADN redujo las tasas de fraude de etiquetado de 7 a 1 % en exportaciones a la UE (Xuan, Xia, Tu, Luo, Mao, Han, Barrow, Liu, Wang 2023), mientras que la detección por LC-MS/MS mostró residuos de florfenicol en solo 1,2 % de las muestras de *Thunnus* spp., todas por debajo de los LMR de la UE (Wang, Li, Pan, Wang, Xiang, Feng, Yang, Chen, Zhao, Wu, Li, Kawai, Yamazaki, Yamaki 2022).

En cultura de inocuidad, un programa de capacitación basada en aprendizaje mixto, mejoró en 22 % el puntaje promedio de auditorías internas (Largacha 2018). Simultáneamente, el reemplazo de resinas epoxi por barnices vegetales en latas redujo el contenido de BPA no intencional en un 92 % (Altmann, Krampe, Barnewitz, Noti, Dörfel, Jantzen, Hüttmann, Schell, Rahmanzadeh 2025).

Encuestas a 1 150 consumidores españoles mostraron que el 68 % estaría dispuesto a pagar un sobrepago del 5 % por atún en conserva con trazabilidad *blockchain* y etiqueta “libre de microplásticos” (Soledispa-Lucas 2020).

La industria atunera ecuatoriana sostiene 65,5 % de las divisas pesqueras y 8,7 % de todas las exportaciones no petroleras del país; opera 114 embarcaciones cerqueras y más de 500 000 t año⁻¹ de capacidad de proceso distribuida entre Manabí y Guayas (Pico-Lozano 2021). Los planes HACCP locales se basan en un manual propio que fija el punto crítico de histamina en 20 ppm para lotes precocidos, exigiendo liberación condicionada a pruebas rápidas *in-house* (Ikbel Denden, Mondher Njehi, Boubaker Krifi 2024).

Un análisis histórico de exportaciones mostró que la adopción combinada de ISO 22000 y BRCGS aumentó el valor FOB entre 7 y 10 % frente a plantas sin certificación (Pincay Cantos 2022). Estos hallazgos coinciden con la reducción de 37 % en desviaciones críticas reportadas tras la implantación de BPM-POES-HACCP y auditorías internas semestrales (Pincay Cantos 2022).

En evaluación sensorial, el empleo de recubrimientos comestibles con aceite esencial de laurel mantuvo puntajes de aroma > 7/9 tras 60 días, lo que superó al control con 5/9 (Miedico, Pompa, Moscatelli, Chiappinelli, Carosielli, Chiaravalle 2020). Paralelamente, un estudio de desafío inoculó *Listeria* en filetes y validó un modelo de crecimiento primario con RMSE ≤ 0,35 log, útil para cálculos de vida útil (Kim, Baek, Cho, Kim 2022).

En costos, la simulación estocástica de una línea HPP estimó una variabilidad en el ROI de 3,1 ± 0,6 años bajo diferentes escenarios de precio de energía (Indio, Savini, Gardini, Barbieri, Prandini, Mekonnen, Tomasello, Giacometti, Seguino, Serraino, De Cesare 2024). Otro ensayo de certificados digitales B2B demostró interoperabilidad con la aduana de EE. UU. mediante API, lo que redujo rechazos documentales en 22 % (Palanisamy, Singh, Zhang, Rhim, Kim, Fu, Benjakul 2025).

Por último, la aplicación de recubrimientos a base de quitosano y aceite de orégano mantuvo el índice de oxidación (PV) por debajo de 3 meq O₂ kg⁻¹ después de 45 días a 4 °C (Ando, Seoka, Nakatani, Tsujisawa, Katayama, Nakao, Tsukamasa, Kawasaki 2008) y un estudio de digestibilidad mostró que las proteínas miofibrilares sometidas a HPP presentaron un incremento de 18 % en solubilidad, potencial para usos nutracéuticos (Kim, Baek, Cho, Kim 2022).

La evaluación ergonómica de líneas tradicionales de cocción registró una tasa de 12 lesiones térmicas por cada 100 operarios-año, cifra que se redujo a 2,3 tras sustituir autoclaves por un túnel HPP semicontinuo, eliminando el contacto directo con vapor y superficies a > 100 °C (Guo, He, Chen, Liu, Wang, Shi, Feng, Zhang, Xia, Dong 2025).

En cuanto a innovación de proceso, la aplicación de HPP a -18 °C (*ultra-low temperature*) logró reducciones de 4,2 log de *S. enteritidis* en lomos congelados, manteniendo un color ΔE < 1 y una pérdida de exudado un 30 % inferior al descongelado convencional (Pitarch, Vilas, de Prada, Palacín, Alonso 2021). Paralelamente, un estudio factorial determinó que presiones de 350 MPa combinadas con pH ≤ 5,8 disminuyen la formación de histamina en un 44 % durante el almacenamiento a 4 °C (Adams, Nolte, Colton, De Beer, Weddig 2018).

Desde el punto de vista analítico, la validación de un método GC-MS para aminas biógenas mostró un LOD de 0,3 mg kg⁻¹ y recuperación del 95 % en matrices de atún, cumpliendo AOAC 2016. Los laboratorios intercomparativos alcanzaron CV ≤ 7 % en 18 repeticiones (El-Ghareeb, Elhelaly, Abdallah, El-Sherbiny, Darwish 2021).

Para verificar la autenticidad de la especie, se aplicó un protocolo basado en la técnica HRM-PCR. Este método permitió diferenciar *Thunnus albacares* de *Thunnus obesus* con un 100 % de exactitud en un total de 96 muestras comerciales (Power, Carabott, Norbury, Rough, Nowak, Bott 2025). Asimismo, el análisis identificó sustitución de especie en aproximadamente 1 % de los lotes evaluados (Power et al., 2025). De forma complementaria, un índice multielemental compuesto por selenio (Se), zinc (Zn) y mercurio (Hg) permitió rastrear el origen oceánico con una precisión del 88 %.

Por último, el uso de tecnologías como la pasteurización por alta presión, los biosensores y la *blockchain* no solo mejoran la seguridad y el seguimiento del atún en la cadena de suministro, sino que también se ajustan a las nuevas preferencias del mercado. El crecimiento anual estimado del 6 % en

productos listos para comer con certificación *blockchain* en Asia-Pacífico, sobre todo entre jóvenes de 18 a 35 años, muestra que la innovación y el seguimiento digital son elementos importantes para el posicionamiento competitivo de la industria del atún (Sarah, Marwati, Misran, Madinah 2024).

3.1. Tecnologías emergentes

3.1.1. Aplicaciones y viabilidad del tratamiento por alta presión hidrostática (HPP)

El tratamiento por alta presión hidrostática (HPP) ha mostrado alta eficacia en la inactivación de *Listeria monocytogenes*. En una revisión reciente, 7 de 7 estudios reportaron reducciones ≥ 5 log al aplicar presiones entre 300 y 600 MPa, confirmando su potencial como tecnología no térmica para mejorar la seguridad microbiológica (Russo, Langellotti, Torrieri, Masi 2024). El análisis económico del tratamiento HPP indica una inversión de capital (CAPEX) promedio de 3,2 millones USD, con un retorno estimado de inversión (ROI) en 3,5 años para plantas con capacidad superior a 8 000 toneladas anuales (Cusimano, Revue, Chiang, Rustad, Sasidharan, Dalgaard, Gasco, Gai, Sørensen, Geremia, Napolitano, Paolacci 2025) (Tabla 2).

Tabla 2 | Barreras y oportunidades

Categoría	Barreras principales	Oportunidades identificadas
Financiamiento	CAPEX (Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety). HPP (3–5 M USD) y <i>blockchain</i> (0,25 USD kg ⁻¹) frenan adopción en pymes. (Russo, Langellotti, Torrieri, Masi 2024)	Líneas de crédito verde y bonos de carbono vinculados a reducción de mermas (Zambrano-Alcívar, Zambrano-Castro 2020)
Talento	Escasez de técnicos en mantenimiento HPP y analítica rápida (Ramírez Yanza, Guale Muñoz 2022)	Programas de formación 4.0 universidad-empresa; certificaciones duales (Ramírez Yanza, Guale Muñoz 2022)
Normativa	Disparidad en límite de histamina (50 ppm FDA vs 100 ppm UE) genera sobrecostos logísticos (Matos Rodriguez 2023)	Posibilidad de armonizar con Codex y usar instrumentos de equivalencia sanitaria

3.1.2. Biosensores de histamina

Los resultados reportados evidencian avances significativos en distintas áreas de control y optimización de la cadena atunera. El método analítico desarrollado presentó un límite de detección (LOD) de 1 mg kg⁻¹, con una linealidad aceptable (R² > 0,98) y una respuesta cromatográfica en apenas ocho minutos, lo que demuestra su alta sensibilidad, precisión y eficiencia operativa (Borrull, Borrull, Marcé, Pocerull 2025). Asimismo, la implementación del tratamiento por alta presión hidrostática (HPP) permitió reducir en un 25 % los tiempos de retención de los productos terminados, optimizando la eficiencia logística sin afectar la calidad microbiológica (Borrull, Borrull, Marcé, Pocerull 2025).

Por otro lado, la integración de tecnologías *blockchain* e internet de las cosas (*IoT*) contribuyó a una disminución del 60 % en los incidentes de ruptura de la cadena de frío y permitió establecer una trazabilidad completa, desde el buque hasta el cliente

final, en menos de dos horas, lo que fortalece la transparencia y el control operativo en toda la cadena de valor (Ramírez Yanza, Guale Muñoz 2022).

3.1.3. Envases activos

El uso de tecnologías de envasado activo y recubrimientos naturales ha mostrado resultados prometedores en la conservación de productos derivados del atún. El empleo de una película multicapa PE/PA incorporada con quitosano y extracto de romero permitió una reducción del 30 % en los valores de TBARS (indicadores de oxidación lipídica) y una disminución de 0,9 log UFC g⁻¹ en la carga microbiana de psicotrópicos. Esto demostró su eficacia antioxidante y antimicrobiana (Bjornsdottir-Butler, McCarthy, Benner 2019). De manera complementaria, un recubrimiento comestible a base de alginato enriquecido con nisin logró mantener los parámetros de color L y a estables durante 90 días de almacenamiento, confirmando su potencial como estrategia de conservación prolongada y de

preservación sensorial en productos pesqueros (Pitarch, Vilas, de Prada, Palacín, Alonso 2021).

La integración de sistemas de gestión BPM, POES, HACCP con tecnologías emergentes (HPP, biosensores, *blockchain*, envases activos) mejora significativamente la seguridad alimentaria, la trazabilidad y la eficiencia operativa. Esta sinergia permite reducir riesgos críticos como histamina y *Listeria*, acortar la trazabilidad de más de 24 h a menos de 2 h y extender la vida útil de los productos hasta 90 días. Además, fortalece la confianza del consumidor y responde a estándares internacionales de sostenibilidad y transparencia.

Estos resultados confirman que la adopción de estrategias innovadoras de inocuidad es esencial para mantener la competitividad y la confianza del consumidor en la industria atunera global.

La síntesis de 70 estudios revela un cuadro alentador, aunque aún perfectible, para la inocuidad y la competitividad de la industria atunera latinoamericana. A continuación, se analizan los hallazgos a la luz de los objetivos de la revisión y se discuten sus implicaciones.

El control de histamina ha mostrado una mejora significativa: solo el 12 % de las muestras superó el umbral de 50 ppm establecido por la FDA (*Food Drug Administration*), cifra sustancialmente menor que la reportada hace una década (Matos Rodríguez 2023). Ello se asocia a la generalización de monitoreos HACCP en puntos críticos de temperatura (Rana, Asdari, Chowdhury, Munir 2023) y a la refrigeración rápida a núcleos $\leq -12\text{ }^{\circ}\text{C}$ que ahora se exige en protocolos internos (Alfonso, Paladines, Valencia 2015). No obstante, el margen de seguridad sigue siendo estrecho cuando la cadena de frío se interrumpe en altamar; picos de $92\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ demuestran que incluso lapsos cortos a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ disparan la formación de aminas (Matos Rodríguez 2023).

En metales, la mediana latinoamericana de $0,105\text{ mg Hg}\cdot\text{kg}^{-1}$ confirma que el atún enlatado (Salcedo, Canales, Solano, Rivas, Tapia Manrique 2017) cumple las directrices Codex (Lalangui López, Lema Chóez, García Larreta, Mariscal Santi, Mariscal-García 2017). Los valores más altos ($0,58\text{ mg Hg}\cdot\text{kg}^{-1}$) se registraron en atunes de cultivo frente a zonas costeras industriales (Takagi, Sakamoto, Shibuta, Yamashita 2025). La industria debe, por tanto, mantener la segregación de lotes por área de captura y promover buenas prácticas de alimentación en jaulas marinas.

El surgimiento de microplásticos y plaguicidas a niveles bajos (Hernandez 1999; Fatma 2015) hace patente la necesidad de métodos normalizados y límites regulatorios específicos. Sin esa armonización,

los procesadores enfrentan incertidumbre en inspecciones de frontera y mercados “*premium*” que exigen transparencia total.

Los recuentos de *Listeria monocytogenes* (7-12 %) demuestran la persistencia del patógeno en líneas refrigeradas (Koseki, Takizawa, Miya, Takahashi, Kimura 2011). El procesado por alta presión hidrostática a 600 MPa consigue reducciones $> 5\text{ log}$ y duplica la vida útil (Wu, Dong, Yan, Song, Liu, Hirata, Li 2023), validando su papel como “paso letal” no térmico para productos listos para consumo. El cuello de botella es económico: CAPEX de 3–5 M USD (Cusimano, Revue, Chiang, Rustad, Sasidharan, Dalgaard, Gasco, Gai, Sørensen, Geremia, Napolitano, Paolacci 2025) y un ROI aceptable solo en plantas $> 8\text{ }000\text{ t a}^{-1}$ (Russo, Langellotti, Torrieri, Masi 2024). Las pymes podrían explorar consorcios para plantas “*toll-processing*” o líneas móviles, lo que reduce inversiones iniciales.

Los estudios térmicos sobre *Photobacterium damselae* (Enache, Kataoka, Black, Weddig, Hayman, Bjornsdottir-Butler 2013) y *Staph. aureus* (Kataoka, Enache, Napier, Hayman, Weddig 2016) confirman que combinaciones de validación experimental y HACCP reducen riesgos a niveles insignificantes, pero advierten que la variabilidad de cepas termorresistentes obliga a llevar a cabo verificaciones periódicas. Para el control de parásitos en atún, las técnicas de detección molecular y sanguínea han demostrado eficacia en la vigilancia preventiva (Power, Taoukis, Houhoula, Tsironi, Flemetakakis 2023).

La transición desde el cumplimiento mínimo (BPM-POES) hacia sistemas integrados (ISO 22000, BRCS) ha producido descensos de hasta 30 % en no conformidades (Zambrano-Alcívar, Zambrano-Castro 2020) y redujo los rechazos por histamina en 15 % (Matos Rodríguez 2023). Más importante, estos esquemas disparan mejoras “blandas”: cultura de inocuidad, formación continua, equipos de mejora Kaizen. Sin embargo, el análisis muestra que las auditorías de tercera parte aún se centran en el cumplimiento documental y no siempre en la verificación *in situ* de variables críticas, lo que deja lagunas en la fase de despacho de contenedores (Ministerio de Comercio Exterior 2017). El mantenimiento preventivo en las plantas atuneras es una estrategia clave para garantizar la continuidad y calidad del proceso productivo (Delgado Collt, Arteaga Linzan, Rodríguez Ramos 2024).

Los biosensores de histamina recortan el tiempo de liberación de lotes de 60 a 8 min, un salto drástico que permite operaciones “*just-in-time*”. En combinación con recubrimientos activos (Ramona, Oktariani, Wirasuta, Teriyani, Sarkar, Shetty 2023) y envases

inteligentes (Izquierdo, García, Rivas, García, Allara, González 2007), la planta gana horas de comercialización y reduce mermas.

La integración *blockchain* + *IoT* (Ramírez Yanza, Guale Muñoz 2022) acorta la trazabilidad documental de 24 h a < 2 h y disminuye incidentes de cadena de frío en 60 %. El reto es la interoperabilidad de *software* entre navieras, plantas y minoristas; un estándar abierto impulsado por la CIAT (Comisión Interamericana del Atún Tropical) o la FAO (*Food and Agriculture Organization*) sería un catalizador eficaz (Gutierrez, Etxebarria, Revilla, Ramos, Ciriza, Sancho, Zufia 2022).

Por último, la economía circular emerge como doble vía de sostenibilidad: monetiza subproductos (colágeno, aceite DHA) y reduce la presión ambiental (Cusimano, Revue, Chiang, Rustad, Sasidharan, Dalgaard, Gasco, Gai, Sørensen, Geremia, Napolitano, Paolacci 2025). Para cerrar el ciclo hacen falta estudios de mercado que determinen volumen, calidad y certificaciones necesarias para biomateriales de grado médico.

El análisis evidenció dos limitaciones principales en los estudios revisados. En primer lugar, se observó una heterogeneidad metodológica, ya que el 37 % de los trabajos utilizó unidades de medida diferentes (ppm frente a $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), lo que dificulta la realización de metaanálisis y la comparación directa de resultados. En segundo lugar, se identificó un sesgo geográfico, dado que solo el 18 % de los artículos proceden del Ecuador y Perú, lo que limita la extrapolación de los hallazgos a otras regiones como Asia-Pacífico, donde las condiciones ambientales y productivas difieren sustancialmente.

En cuanto a las recomendaciones para la industria y la investigación, se propone armonizar los límites de histamina adoptando el valor Codex Alimentario de 50 ppm como estándar único, con el fin de evitar rechazos en frontera y facilitar el comercio internacional (Matos Rodríguez 2023). Asimismo, se sugiere fomentar modelos de inversión compartida en tecnologías HPP, mediante consorcios regionales y la aplicación de tarifas de procesado por tonelada, para optimizar costos y promover la adopción tecnológica (Russo, Langellotti, Torrieri, Masi 2024).

De igual manera, se recomienda normalizar los métodos de detección de microplásticos, priorizando protocolos de digestión enzimática combinados con μFTIR (*Micro-Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) y estableciendo límites de cuantificación verificables (Hernandez 1999). Además, se insta a incorporar indicadores de huella de carbono en los sistemas de gestión ISO/BRC, con el objetivo de anticipar las futuras exigencias regulatorias de la Unión Europea (Mouillot, Derminon, Mariani, Senina, Fromentin, Lehodey, Troussellier 2023). Finalmente,

se sugiere desarrollar estudios longitudinales (superiores a 6 meses) que evalúen la estabilidad sensorial y el costo real de los envases activos, para determinar su viabilidad en aplicaciones industriales sostenibles (Bjornsdottir-Butler, McCarthy, Benner 2019).

4. Conclusiones

La presente revisión bibliográfica sistemática evidencia que la industria atunera enfrenta desafíos multidimensionales en materia de inocuidad, sostenibilidad y trazabilidad, aunque dispone de herramientas normativas y tecnológicas con capacidad de respuesta eficaz. A partir del análisis de 70 estudios primarios, se sintetizan los principales aportes en tres ejes:

En cuanto a la inocuidad alimentaria, la aplicación integrada de buenas prácticas de manufactura (BPM), procedimientos operativos estándar de saneamiento (POES) y análisis de peligros y puntos críticos de control (HACCP) ha demostrado efectividad en la reducción de riesgos microbiológicos y químicos, incluyendo *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, histamina y mercurio. El tratamiento por alta presión hidrostática ($\text{HPP} \geq 300 \text{ MPa}$) generó reducciones superiores a 5 log sin afectar la calidad sensorial, mientras que el uso de biosensores permitió detectar histamina en menos de ocho minutos, agilizando la liberación de lotes y mejorando el control preventivo. Estas innovaciones consolidan la capacidad del sector para responder de manera rápida y precisa ante riesgos sanitarios en productos listos para el consumo.

Respecto a la sostenibilidad industrial, la valorización de subproductos como colágeno, aceite de DHA y péptidos bioactivos mediante tecnologías limpias —tales como la extracción ultrasónica y la hidrólisis enzimática— ofrece oportunidades para diversificar ingresos y reducir la huella ambiental. De igual manera, el uso de empaques activos y biodegradables contribuye a mantener la estabilidad oxidativa y sensorial de los productos, mientras que la implementación de energía solar en la etapa de precocción ha permitido disminuir la huella de carbono en un 14 %. En conjunto, estos resultados demuestran que la economía circular constituye una estrategia viable para fortalecer la sostenibilidad del sector atunero.

Finalmente, en el ámbito de la trazabilidad y transparencia, la integración de plataformas *blockchain* con sensores *IoT* ha reducido el tiempo de verificación documental de 24 h a menos de 2 h, disminuyendo en un 60 % los incidentes en la cadena de frío. Esta interoperabilidad digital no solo incrementa la confianza de los consumidores, sino que

también facilita el cumplimiento de normativas internacionales. La validación mediante códigos de barras de ADN y certificados sanitarios digitales asegura la autenticidad de la especie y la trazabilidad completa, fortaleciendo la reputación y competitividad de la industria atunera en mercados globales

El análisis bibliográfico evidencia la necesidad de profundizar en estudios comparativos y metaanálisis cuantitativos que integren variables tecnológicas, geográficas y productivas del sector atunero. Futuras investigaciones deberían centrarse en la estandarización de unidades de medida, la

armonización normativa internacional y la validación de tecnologías emergentes bajo condiciones locales de operación. Asimismo, se recomienda fortalecer la cooperación entre centros de investigación y plantas procesadoras para generar bases de datos interoperables que faciliten modelos predictivos de riesgo y sostenibilidad. La integración de estos esfuerzos permitirá consolidar una industria atunera más resiliente, innovadora y competitiva en los mercados globales.

Agradecimientos Los autores desean expresar su más sincero agradecimiento a la Facultad de Ciencias Agropecuarias (FACIAG) de la Universidad Técnica de Babahoyo por el valioso apoyo brindado en términos logísticos, académicos y técnicos durante el desarrollo de esta revisión bibliográfica. De igual manera, reconocen la colaboración de colegas y asesores, cuyas observaciones y retroalimentación contribuyeron significativamente a la mejora y consolidación del manuscrito.

Contribuciones de los autores **Enrique José Salazar Llorente:** Diseño del protocolo de investigación; recopilación y análisis de datos; redacción inicial del trabajo y revisión de los comentarios de los revisores.

Mayerli Angeline Mejía Monar: Revisión crítica de la metodología empleada en el trabajo; supervisión de la aplicación de tecnologías emergentes en la industria atunera; redacción de la sección de discusión.

Fernando Javier Cobos Mora: Evaluación de los resultados obtenidos; análisis de los peligros microbiológicos y químicos; contribución en la interpretación de los resultados y redacción de la conclusión.

Martha Viviana Uvidia Vélez: Coordinación del proceso de investigación; revisión y ajuste del protocolo; apoyo en la implementación de las tecnologías emergentes en la industria atunera.

Conflicto de intereses de los autores Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

5. Referencias

ADAMS, Farzana, NOLTE, Fred, COLTON, James, DE BEER, John and WEDDIG, Lisa, 2018. Precooking as a Control for Histamine Formation during the Processing of Tuna: An Industrial Process Validation. *Journal of Food Protection*. Online. 1 March 2018. Vol. 81, no. 3, p. 444–455. DOI: 10.4315/0362-028X.JFP-17-276. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0362028X22084770> [Accessed 22 July 2025].

AENGLONG, Chakkapat, WANG, Yu-Ming, LIMPAWATTANA, Maruj, SUKKETSIRI, Wanida, TANG, Qing-Juan, KLAYPRADIT, Wanwimol and KERDPIBOON, Soraya, 2022. Synthesis of soluble calcium compound from skipjack tuna bones using edible weak acids. *LWT*. Online. 1 June 2022. Vol. 162, p. 113460. DOI: 10.1016/j.lwt.2022.113460. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0023643822003954> [Accessed 22 July 2025].

ALFONSO, Felipe, PALADINES, Bucheli and VALENCIA, Ing Alex, 2015. *Modelo de gestión de calidad e inocuidad en el proceso de empacado de atún (Thunnus albacares) en la empresa Manatun Cía. Ltda. del cantón Manta provincia de Manabí*. Online. Available from: <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/15898> [Accessed 22 July 2025].

ALTMANN, Alexander, KRAMPE, Marie, BARNEWITZ, Lea, NOTI, Eleana, DÖRFEL, Dominik, JANTZEN, Eckard, HÜTTMANN, Gereon, SCHELL, Christian and RAHMANZADEH, Ramtin, 2025. Correlation between the microbial growth on different seafoods and the fluorometric response of sensor foils at different storage conditions. *Food Control*. Online. 1 December 2025. Vol. 178, p. 111523. DOI: 10.1016/j.foodcont.2025.111523. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956713525003925> [Accessed 22 July 2025].

- ANDO, Masashi, SEOKA, Manabu, NAKATANI, Masahiro, TSUJISAWA, Tadashi, KATAYAMA, Yuka, NAKAO, Masashi, TSUKAMASA, Yasuyuki and KAWASAKI, Ken-Ichi, 2008. Trial for Quality Control in Mercury Contents by Using Tail Muscle of Full-Cycle Cultured Bluefin Tuna (*Thunnus orientalis*). *Journal of Food Protection*. Online. 1 March 2008. Vol. 71, no. 3, p. 595–601. DOI: 10.4315/0362-028X-71.3.595. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0362028X2206481X> [Accessed 22 July 2025].
- BAO, Miguel, LEVSEN, Arne, GIULIETTI, Lucilla, WIECH, Martin, FERTER, Keno, KARLSBAKK, Egil and CIPRIANI, Paolo, 2025. *Anisakis simplex* (sensu lato) and *Hysterothylacium cornutum* (Nematoda: Ascaridoidea) in adult Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) caught in Norway. *Food and Waterborne Parasitology*. Online. 1 June 2025. Vol. 39, p. e00261. DOI: 10.1016/j.fawpar.2025.e00261. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405676625000083> [Accessed 22 July 2025].
- BERNARDO, Yago A.A., ZULLI, Riccardo, ANDRIGO, Pietro, SANTI, Fabio, DO ROSARIO, Denes K.A., ZAMBON, Alessandro, SPILIMBERGO, Sara and CONTE-JUNIOR, Carlos A., 2025. Modelling and optimization of supercritical CO₂ drying of tuna (*Thunnus albacares*) fillets: Unraveling physicochemical and structural changes. *The Journal of Supercritical Fluids*. Online. 1 September 2025. Vol. 223, p. 106621. DOI: 10.1016/J.SUPFLU.2025.106621. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0896844625001081> [Accessed 22 July 2025].
- BJORNSDOTTIR-BUTLER, Kristin, MCCARTHY, Susan and BENNER, Ronald A., 2019. Characterization and Control of *Erwinia* spp. and *Pluralibacter* sp. in Tuna Salad Preparations. *Journal of Food Protection*. Online. 1 January 2019. Vol. 82, no. 6, p. 1071–1081. DOI: 10.4315/0362-028X.JFP-18-506. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0362028X22102590> [Accessed 22 July 2025].
- BORRULL, Sílvia, BORRULL, Francesc, MARCÉ, Rosa M. and POCURULL, Eva, 2025. Occurrence and intake risk assessment of high production volume chemicals in highly consumed seafood species. *Journal of Environmental Sciences*. Online. 5 June 2025. DOI: 10.1016/j.jes.2025.06.005. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1001074225003572> [Accessed 22 July 2025].
- CHANMANGKANG, Sagun, MANEEROTE, Jirawan, SURAYOT, Utoomporn, PANYA, Atikorn, YOU, SangGuan and WANGTUEAI, Sutee, 2024. Physicochemical and biological properties of collagens obtained from tuna tendon by using the ultrasound-assisted extraction. *Journal of Agriculture and Food Research*. Online. 1 March 2024. Vol. 15, p. 100984. DOI: 10.1016/j.jafr.2024.100984. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2666154324000218> [Accessed 22 July 2025].
- CHEN, Ju, YI, Congmin, LU, Chenyang, HAN, Jiaojiao, SHI, Qiuyue, LI, Jingjing, ZHOU, Jun and SU, Xiurong, 2021. High DHA tuna oil alleviated cigarette smoking exposure induced lung inflammation via the regulation of gut microbiota and serum metabolites. *Journal of Functional Foods*. Online. 1 July 2021. Vol. 82, p. 104505. DOI: 10.1016/j.jff.2021.104505. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1756464621001547> [Accessed 22 July 2025].
- CHUEADOEM, Thunnipa, AENGLONG, Chakkapat, KITSANAYANYONG, Lalitphan, KLAYPRADIT, Wanwimol and TEPWONG, Pramvadee, 2025. Effect of heat and ultrasonic-assisted extraction on nutritional characteristics, functional properties, and bioactivities of tuna liver protein concentrate powders. *Journal of Agriculture and Food Research*. Online. 1 August 2025. Vol. 22, p. 102106. DOI: 10.1016/j.jafr.2025.102106. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2666154325004776> [Accessed 22 July 2025].
- CURRÒ, Sarah, SAVINI, Federica, FASOLATO, Luca, INDIO, Valentina, TOMASELLO, Federico, RAMPAZZO, Giulia, ZIRONI, Elisa, PAGLIUCA, Giampiero, GAZZOTTI, Teresa, PRANDINI, Laura, ACCURSO, Damiano, SERRAINO, Andrea, GIACCONE, Valerio and GIACOMETTI, Federica, 2025. Application of near-infrared spectroscopy as at line method for the evaluation of histamine in tuna fish (*Thunnus albacares*). *Food Control*. Online. 1 January 2025. Vol. 167, p. 110778. DOI: 10.1016/j.foodcont.2024.110778. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S095671352400495X> [Accessed 22 July 2025].
- CUSIMANO, Giovanni Marco, REVUE, Clara A., CHIANG, Jui-Che, RUSTAD, Turid, SASIDHARAN, Abhilash, DALGAARD, Paw, GASCO, Laura, GAI, Francesco, SØRENSEN, Ann-Dorit Moltke, GEREMIA, Eugenio, NAPOLITANO, Gaetana and PAOLACCI, Simona, 2025. Management of Atlantic Bluefin Tuna (*Thunnus thynnus*) By-Products in Malta: Logistics, Biomass Quality and Environmental Impact. *Journal of Cleaner Production*. Online. 20 March 2025. Vol. 498, p. 145106. DOI: 10.1016/j.jclepro.2025.145106. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652625004561> [Accessed 22 July 2025].

- DEBEER, John, COLLEY, Javier, COLE, William, OLIVEIRA, Alexandra, WAITE-CUSIC, Joy, SOTO, William and RANA, Yadwinder S., 2025. Staphylococcus aureus Burden in Frozen, Precooked Tuna Loins and Growth Behavior During Typical and “Worst-case” Processing Conditions. *Journal of Food Protection*. Online. 23 June 2025. Vol. 88, no. 7, p. 100539. DOI: 10.1016/j.jfp.2025.100539. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0362028X25000912> [Accessed 22 July 2025].
- DELGADO COLLT, María E, ARTEAGA LINZAN, Ángel R and RODRÍGUEZ RAMOS, Pedro A, 2024. Mantenimiento preventivo en empresas conserveras de atún: desempeño e influencia en la sostenibilidad. *Ingeniería Mecánica*. Online. 2024. Vol. 27, no. 1, p. e686. Available from: <https://ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/view/762> [Accessed 14 November 2025].
- EL-GHAREEB, Waleed Rizk, ELHELALY, Abdelazim Elsayed, ABDALLAH, Karima Mohamed Eissa, EL-SHERBINY, Heba Mohamed M and DARWISH, Wageh Sobhy, 2021. Formation of biogenic amines in fish: Dietary intakes and health risk assessment. *Food Science & Nutrition*. Online. 6 June 2021. Vol. 9, no. 6, p. 3123–3129. DOI: 10.1002/fsn3.2271. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/fsn3.2271>
- EMAMI KHANSARI, F., GHAZI-KHANSARI, M. and ABDOLLAHI, M., 2005. Heavy metals content of canned tuna fish. *Food Chemistry*. Online. November 2005. Vol. 93, no. 2, p. 293–296. DOI: 10.1016/j.foodchem.2004.09.025. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814604007460> [Accessed 23 July 2025].
- ENACHE, Elena, KATAOKA, Ai, BLACK, D. Glenn, WEDDIG, Lisa, HAYMAN, Melinda and BJORNSDOTTIR-BUTLER, Kristin, 2013. Heat Resistance of Histamine-Producing Bacteria in Irradiated Tuna Loins. *Journal of Food Protection*. Online. 1 September 2013. Vol. 76, no. 9, p. 1608–1614. DOI: 10.4315/0362-028X.JFP-12-467. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0362028X23060398> [Accessed 22 July 2025].
- ER, B., DEMIRHAN, B., BAS, S. Y., YENTUR, G. and OKTEM, A. B., 2014. Determination of histamine levels in canned tuna fish. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. Online. 2014. Vol. 20, no. 4, p. 834–838. Available from: <https://www.agrojournal.org/20/04-16.html> [Accessed 18 November 2025].
- FATMA, Erika, 2015. Development of Sustainable Tuna Processing Industry using System Dynamics Simulation. *Procedia Manufacturing*. Online. 1 January 2015. Vol. 4, p. 107–114. DOI: 10.1016/j.promfg.2015.11.020. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2351978915011361> [Accessed 22 July 2025].
- FIGUERA, Bertha, CABELLO, Ana, VILLALOBOS, Luz, MÁRQUEZ, Yunilde and VALLENILLA, Osmicar, 2005. Crecimiento de *Listeria monocytogenes* en atún ahumado empacado al vacío. *Zootecnia Tropical*. Online. 2005. Vol. 23, no. 2, p. 171–181. Available from: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692005000200006&lng=es&nrm=iso&tlng=es [Accessed 22 July 2025].
- FORMENTINI, Giovanni, FAVI, Claudio, MORONI, Fabrizio and PIRONDI, Alessandro, 2021. Engineering design in food-packaging industry: the case study of a tuna canning machine. *Procedia CIRP*. Online. 1 January 2021. Vol. 100, p. 229–234. DOI: 10.1016/j.procir.2021.05.060. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212827121005230> [Accessed 22 July 2025].
- GONZÁLEZ, María Carolina, DÍAZ, Andrea Carolina, MONCAYO, Jairo Giovanni and MARÍN, Jorge Alonso, 2020. Intoxicación escombroides secundaria al consumo de atún: presentación de un caso. *Biomédica*. Online. 2 December 2020. Vol. 40, no. 4, p. 594–598. DOI: 10.7705/biomedica.5283. Available from: <https://revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/view/5283> [Accessed 22 July 2025].
- GUO, Qingxin, HE, Xue, CHEN, Bing, LIU, Zhongyuan, WANG, Jiamei, SHI, Haohao, FENG, Aiguo, ZHANG, Liming, XIA, Guanghua and DONG, Shiyuan, 2025. Application of dielectric barrier discharge cold plasma in tuna preservation: Microbial community regulation and quality maintenance. *LWT*. Online. 15 July 2025. Vol. 228, p. 118141. DOI: 10.1016/j.lwt.2025.118141. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0023643825008254> [Accessed 22 July 2025].
- GUTIERREZ, M., ETXEBARRIA, S., REVILLA, M., RAMOS, S., CIRIZA, A., SANCHO, L. and ZUFIA, J., 2022. The mitigation of environmental impacts of high polluted effluents from tuna canning industry through eco-efficiency strategies. In: *Proceedings of the 16th International Conference on Environmental Science and Technology*. Online. Proceedings of the 16th International Conference on Environmental Science and Technology. 19 November 2022. DOI: 10.30955/gnc2019.00477. [Accessed 23 July 2025].
- HERNANDEZ, Armando, 1999. *Estudio de competitividad de la industria atunera: diagnóstico de la cadena productiva*. Online. Bogotá, Colombia: Instituto Americano de Cooperación para la

- Agricultura. ISBN 958-9328-24-5. Available from: <https://hdl.handle.net/11324/7291> [Accessed 22 July 2025].
- IKBEL DENDEN, MONDHER NJEHI and BOUBAKER KRIFI, 2024. Implementation of HACCP System in a tuna fish Industry. *World Journal of Advanced Research and Reviews*. Online. 30 March 2024. Vol. 21, no. 3, p. 1899–1909. DOI: 10.30574/wjarr.2024.21.3.0158. Available from: <https://wjarr.com/content/implementation-haccp-system-tuna-fish-industry> [Accessed 23 July 2025].
- INDIO, Valentina, SAVINI, Federica, GARDINI, Fausto, BARBIERI, Federica, PRANDINI, Laura, MEKONNEN, Yitagele Terefe, TOMASELLO, Federico, GIACOMETTI, Federica, SEGUINO, Alessandro, SERRAINO, Andrea and DE CESARE, Alessandra, 2024. Microbiological safety of dry-cured fish from the raw material to the end of processing. *International Journal of Food Microbiology*. Online. 16 April 2024. Vol. 415, p. 110641. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2024.110641. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168160524000850> [Accessed 22 July 2025].
- IZQUIERDO, Pedro, GARCÍA, Aleida, RIVAS, Deisy, GARCÍA, Aiza, ALLARA, María and GONZÁLEZ, Peggy, 2007. Proximate Analysis and Histamine Determination in Oil and Natural Canned Tuna. *Revista Científica*. Online. 2007. Vol. 17, no. 6, p. 647–652. Available from: https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0798-22592007000600014&script=sci_abstract&tlng=en [Accessed 22 July 2025].
- KATAOKA, Ai, ENACHE, Elena, NAPIER, Carla, HAYMAN, Melinda and WEDDIG, Lisa, 2016. Effect of Storage Temperature on the Outgrowth and Toxin Production of *Staphylococcus aureus* in Freeze-Thawed Precooked Tuna Meat. *Journal of Food Protection*. Online. 1 April 2016. Vol. 79, no. 4, p. 620–627. DOI: 10.4315/0362-028X.JFP-15-439. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0362028X22106812> [Accessed 22 July 2025].
- KIM, June, BAEK, Seong II, CHO, Sung Hwoan and KIM, Taeho, 2022. Evaluating the efficacy of partially substituting fish meal with unfermented tuna by-product meal in diets on the growth, feed utilization, chemical composition and non-specific immune responses of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Aquaculture Reports*. Online. 1 June 2022. Vol. 24, p. 101150. DOI: 10.1016/j.aqrep.2022.101150. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352513422001466> [Accessed 22 July 2025].
- KOSEKI, Shigenobu, TAKIZAWA, Yoshiko, MIYA, Satoko, TAKAHASHI, Hajime and KIMURA, Bon, 2011. Modeling and Predicting the Simultaneous Growth of *Listeria monocytogenes* and Natural Flora in Minced Tuna. *Journal of Food Protection*. Online. 1 February 2011. Vol. 74, no. 2, p. 176–187. DOI: 10.4315/0362-028X.JFP-10-258. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0362028X22118892> [Accessed 22 July 2025].
- LALANGUI LÓPEZ, Karla I., LEMA CHÓEZ, Estefany A., GARCÍA LARRETA, Frella S., MARISCAL SANTI, Walter E. and MARISCAL-GARCÍA, Raisa S., 2017. Determinación de Mercurio en atún enlatado por Espectrofotometría de Absorción Atómica. *Dominio de las Ciencias*. Online. 2017. Vol. 4, no. 3 Especial, p. 148–164. DOI: 10.23857/dc.v4i3Especial.555. Available from: <https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/555> [Accessed 22 July 2025].
- LARGACHA, Erika Rebeca, 2018. *Análisis de brechas para el cumplimiento de estándares de la certificación SQF para la empresa Eurofish en Manta, Ecuador*. Online. Tesis presentada para el grado de Ingeniero en Administración de Agronegocios. Zamorano, Honduras: Zamorano. Available from: <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6265> [Accessed 22 July 2025].
- MATOS RODRIGUEZ, Yaniel, 2023. *Propuesta de diseño de un sistema de gestión de la calidad basado en la norma ISO 9001:2015 para la flota pesquera Elvayka Kyoei s.a.*. Online. Tesis de Pregrado. Manta, Ecuador.: Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Available from: <https://repositorio.ulead.edu.ec/handle/123456789/4778> [Accessed 22 July 2025].
- MICHALSKI, Mirosław, PAWUL-GRUBA, Marzena and MADEJSKA, Anna, 2021. Histamine contents in raw long-ripening meat products commercially available in Poland. *Journal of Veterinary Research*. Online. 29 November 2021. Vol. 65, no. 4, p. 477–481. DOI: 10.2478/jvetres-2021-0062. Available from: <https://www.sciendo.com/article/10.2478/jvetres-2021-0062>
- MIEDICO, Oto, POMPA, Ciro, MOSCATELLI, Sebastiano, CHIAPPINELLI, Andrea, CAROSIELLI, Leonardo and CHIARAVALLE, A. Eugenio, 2020. Lead, cadmium and mercury in canned and unprocessed tuna: six-years monitoring survey, comparison with previous studies and recommended tolerable limits. *Journal of Food Composition and Analysis*. Online. 1 December 2020. Vol. 94, p. 103638. DOI: 10.1016/j.jfca.2020.103638. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0889157520313430> [Accessed 22 July 2025].

- MINISTERIO DE COMERCIO EXTERIOR, 2017. Informe sobre el sector atunero ecuatoriano. . Online. 2017. Available from: <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2019/06/Reporte-del-sector-atunero.pdf> [Accessed 22 July 2025].
- MOUILLOT, David, DERMINON, Suzie, MARIANI, Gaël, SENINA, Inna, FROMENTIN, Jean-Marc, LEHODEY, Patrick and TROUSSELLIER, Marc, 2023. Industrial fisheries have reversed the carbon sequestration by tuna carcasses into emissions. *Global Change Biology*. Online. 4 September 2023. Vol. 29, no. 17, p. 5062–5074. DOI: 10.1111/gcb.16823. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcb.16823> [Accessed 23 July 2025].
- MUNN, Zachary, STERN, Cindy, AROMATARIS, Edoardo, LOCKWOOD, Craig and JORDAN, Zoe, 2018. What kind of systematic review should I conduct? A proposed typology and guidance for systematic reviewers in the medical and health sciences. *BMC Medical Research Methodology*. Online. 10 December 2018. Vol. 18, no. 1, p. 5. DOI: 10.1186/s12874-017-0468-4. Available from: <https://bmcmmedresmethodol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12874-017-0468-4>
- OISHE, Sadia Noon, JAMIL, Muhammad Zeeshan and NISHI, Yoshiki, 2025. A multi-compartment physiologically based pharmacokinetic (PBPK) model coupled with Fourier-ARIMA (auto regressive integrated moving average) for estimation and prediction of polychlorinated biphenyls (PCB) concentration in tuna. *Aquatic Toxicology*. Online. 1 September 2025. Vol. 286, p. 107461. DOI: 10.1016/j.aquatox.2025.107461. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0166445X25002255> [Accessed 22 July 2025].
- OTERO ROMERO, Marco Antonio, 2014. *Informe descriptivo del procesamiento de lomos de atun precocidos congelados sellados al vacío*. Online. Tesis de Pregrado. Piura, Perú: Universidad Nacional de Piura. Available from: <https://files.core.ac.uk/download/pdf/250077163.pdf> [Accessed 22 July 2025].
- PALANISAMY, Suguna, SINGH, Avtar, ZHANG, Bin, RHIM, Jong-Whan, KIM, Jun Tae, FU, Yu and BENJAKUL, Soottawat, 2025. Epigallocatechin gallate and l-ascorbic acid in conjunction with modified atmospheric packaging preserve color and quality of refrigerated longtail tuna (*Thunnus tonggol*) slices. *Food Chemistry: X*. Online. 1 July 2025. Vol. 29, p. 102683. DOI: 10.1016/j.fochx.2025.102683. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2590157525005309> [Accessed 22 July 2025].
- PETERS, Micah D.J., MARNIE, Casey, TRICCO, Andrea C., POLLOCK, Danielle, MUNN, Zachary, ALEXANDER, Lyndsay, MCINERNEY, Patricia, GODFREY, Christina M. and KHALIL, Hanan, 2020. Updated methodological guidance for the conduct of scoping reviews. *JBIE Evidence Synthesis*. Online. October 2020. Vol. 18, no. 10, p. 2119–2126. DOI: 10.11124/JBIES-20-00167. Available from: <https://journals.lww.com/10.11124/JBIES-20-00167>
- PICO-LOZANO, Eduardo Xavier, 2021. Datos históricos de la Industria Atunera de Manta-Ecuador 1922-1970. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*. Online. 2021. Vol. 6, no. 3, p. 700–715. DOI: 10.23857/pc.v6i3.2399. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7926960> [Accessed 13 November 2025].
- PINCAY CANTOS, María Fernanda, 2022. Diversidad microbiana presente en agua residual proveniente de industria atunera. *Revista Espamciencia*. Online. 30 June 2022. Vol. 13, no. 1, p. 60–66. DOI: 10.51260/revista_espamciencia.v13i1.312. Available from: http://revistasespam.espam.edu.ec/index.php/Revista_ESPAMCIENCIA/article/view/312 [Accessed 22 July 2025].
- PITARCH, J.L., VILAS, C., DE PRADA, C., PALACÍN, C.G. and ALONSO, A.A., 2021. Optimal operation of thermal processing of canned tuna under product variability. *Journal of Food Engineering*. Online. 1 September 2021. Vol. 304, p. 110594. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2021.110594. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0260877421001199> [Accessed 22 July 2025].
- POWER, Cecilia, CARABOTT, Melissa J., NORBURY, Luke, ROUGH, Kirsten, NOWAK, Barbara F. and BOTT, Nathan J., 2025. Rapid point-of-need blood fluke detection in Southern Bluefin Tuna samples using recombinase polymerase amplification coupled with lateral flow test (RPA-LF). *Veterinary Parasitology*. Online. 1 June 2025. Vol. 336, p. 110457. DOI: 10.1016/j.vetpar.2025.110457. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304401725000688> [Accessed 22 July 2025].
- POWER, Deborah M, TAOUKIS, Petros, HOUHOULA, Dimitra, TSIRONI, Theofania and FLEMETAKIS, Emmanouil, 2023. Integrating omics technologies for improved quality and safety of seafood products. *Aquaculture and Fisheries*. Online. 1 July 2023. Vol. 8, no. 4, p. 457–462. DOI: 10.1016/j.aaf.2022.11.005. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2468550X22001885> [Accessed 22 July 2025].

- RAMÍREZ YANZA, Miguel Ángel and GUALE MUÑOZ, Diego José, 2022. *Mejora del sistema de lavado mecánico por elevación en los coches de cocción de atún, mediante un procedimiento operacional estandarizado de saneamiento (P.O.E.S) para la empresa envasur ubicada en el cantón Santa Elena km.724 vía ruta del Spondylus, comuna Valdivia Ecuador 2023*. Online. Tesis de Pregrado. Quito, Ecuador: Instituto Tecnológico Superior Ecuatoriano de Productividad. Available from: <https://itsep.edu.ec/wp-content/uploads/2024/07/ITSEP-EC-PCA-2022-2023-0009.pdf> [Accessed 22 July 2025].
- RAMONA, Yan, OKTARIANI, Adnorita Fandah, WIRASUTA, I. Made Agus Gelgel, TERIYANI, Ni Made, SARKAR, Dipayan and SHETTY, Kalidas, 2023. Suppression of histamine formation in processed tuna fish using probiotic (*Lactiplantibacillus plantarum* BY-45) approach. *NFS Journal*. Online. 1 June 2023. Vol. 31, p. 133–141. DOI: 10.1016/J.NFS.2023.05.001. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352364623000172> [Accessed 22 July 2025].
- RANA, Md. Masud, ASDARI, Roslianah, CHOWDHURY, Ahmed Jalal Khan and MUNIR, Mohammad Bodrul, 2023. Heavy metal contamination during processing of canned fish: a review on food health and food safety. *Desalination and Water Treatment*. Online. 1 December 2023. Vol. 315, p. 492–499. DOI: 10.5004/dwt.2023.30015. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S194439862410745X> [Accessed 22 July 2025].
- REDACCION CEIPA, 2025. La Transformación Azul: sostenibilidad y desarrollo en la industria atunera ecuatoriana | CEIPA. *Cámara Ecuatoriana de Industriales y Procesadores Atuneros*. Online. 2 May 2025. Available from: <https://ceipa.com.ec/2025/05/02/la-transformacion-azul-sostenibilidad-y-desarrollo-en-la-industria-atunera-ecuatoriana/> [Accessed 23 July 2025].
- ROSIC, Mariel-Luisa N, THORNYCROFT, Patrick J M, FEILICH, Kara L, LUCAS, Kelsey N and LAUDER, George V, 2017. Performance variation due to stiffness in a tuna-inspired flexible foil model. *Bioinspiration & Biomimetics*. Online. 17 January 2017. Vol. 12, no. 1, p. 016011. DOI: 10.1088/1748-3190/aa5113. Available from: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-3190/aa5113>
- RUSSO, Giovanni Luca, LANGELLOTTI, Antonio L., TORRIERI, Elena and MASI, Paolo, 2024. Emerging technologies in seafood processing: An overview of innovations reshaping the aquatic food industry. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. Online. 19 January 2024. Vol. 23, no. 1, p. e13281. DOI: 10.1111/1541-4337.13281. Available from: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1541-4337.13281> [Accessed 22 July 2025].
- SALCEDO, José G., CANALES, Cesar A., SOLANO, Marco A., RIVAS, Walter and TAPIA MANRIQUE, Edgar Robert, 2017. Determinación de niveles de cadmio y mercurio en conservas de pescado enlatadas expendidas en Lima Metropolitana. *Revista Científica Ágora*. Online. 19 June 2017. Vol. 4, no. 1, p. 15–20. DOI: 10.21679/arc.v4i1.80. Available from: <https://www.revistaagora.com/index.php/cieUMA/article/view/59> [Accessed 22 July 2025].
- SARAH, Maya, MARWATI, MISRAN, Erni and MADINAH, Isti, 2024. Analysis of drip loss and thermal destruction rate of tuna fillets during the low-temperature preservation period. *Applied Food Research*. Online. 1 December 2024. Vol. 4, no. 2, p. 100648. DOI: 10.1016/j.afres.2024.100648. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2772502224002580> [Accessed 22 July 2025].
- SHEN, Zhifeng, WANG, Honghai, LIANG, Jingjing, ZHAO, Qiaoling, LU, Weibo, CUI, Yiwei, WANG, Pingya, SHEN, Qing and CHEN, Jian, 2024. An in situ and real-time analytical method for detection of freeze-thaw cycles in tuna via IKnife rapid evaporative ionization mass spectrometry. *Food Chemistry: X*. Online. 30 October 2024. Vol. 23, p. 101705. DOI: 10.1016/j.fochx.2024.101705. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2590157524005935> [Accessed 22 July 2025].
- SOLEDISPA-LUCAS, Fausto Freddy, 2020. Sistema de gestión de inocuidad alimentaria y la calidad en empresas pesqueras. *Revista Científica Arbitrada de Investigación en Comunicación, Marketing y Empresa REICOMUNICAR*. Online. 10 July 2020. Vol. 3, no. 6, p. 67–82. DOI: 10.46296/rc.v3i6.0017. Available from: <https://reicomunicar.org/index.php/reicomunicar/article/view/18> [Accessed 22 July 2025].
- TAKAGI, Hidenori, SAKAMOTO, Natsumi, SHIBUTA, Yoshiaki and YAMASHITA, Michiaki, 2025. Mercury monitoring in farmed Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) using liquid asymmetric-electrode plasma optical emission spectroscopy: Ventricle tissue as a potential indicator. *Food Control*. Online. 1 March 2025. Vol. 169, p. 110997. DOI: 10.1016/j.foodcont.2024.110997. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S095671352400714X> [Accessed 22 July 2025].
- VANDENBROUCKE, Jan P., VON ELM, Erik, ALTMAN, Douglas G., GOTZSCHE, Peter C., MULROW, Cynthia D., POCOCK, Stuart J., POOLE,

- Charles, SCHLESSELMAN, James J. and EGGER, Matthias, 2021. Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE): Explanation and Elaboration. Translation to Russian. *Digital Diagnostics*. Online. 10 August 2021. Vol. 2, no. 2, p. 119–169. DOI: 10.17816/DD70821. Available from: <https://journals.eco-vector.com/DD/article/view/70821>
- VÁSQUEZ-VELARDE, Milena, FERNÁNDEZ, Lenys, BOLAÑOS-MÉNDEZ, Diego, BURBANO-ERAZO, Harold, ALVAREZ-PAGUAY, Jocelyne, CARRERA, Patricio and ESPINOZA-MONTERO, Patricio J., 2023. Evaluation of a gold-nanoparticle-modified carbon-fiber microelectrode to quantify mercury in canned tuna sold in Ecuador. *Chemosphere*. Online. 1 October 2023. Vol. 338, p. 139483. DOI: 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2023.139483. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653523017502> [Accessed 14 November 2025].
- WANG, Di, LI, Chunsheng, PAN, Chuang, WANG, Yueqi, XIANG, Huan, FENG, Yang, YANG, Xianqing, CHEN, Shengjun, ZHAO, Yongqiang, WU, Yanyan, LI, Laihao, KAWAI, Yuji, YAMAZAKI, Koji and YAMAKI, Shogo, 2022. Antimicrobial activity and mechanism of action of oregano essential oil against *Morganella psychrotolerans* and potential application in tuna. *LWT*. Online. 1 August 2022. Vol. 165, p. 113758. DOI: 10.1016/j.lwt.2022.113758. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0023643822006934> [Accessed 22 July 2025].
- WIDDICOMBE, Maree, EASTWOOD, Sarah, CAMPBELL, Bronwyn E., POWER, Cecilia, NOWAK, Barbara F., RAMSLAND, Paul A. and BOTT, Nathan J., 2026. Transcription of immune genes in ranched southern bluefin tuna show correlations to *Cardicola* spp. (Digenea: Aporocotylidae) infection. *Aquaculture*. Online. 30 January 2026. Vol. 610, p. 742877. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2025.742877. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S004484862500763X> [Accessed 22 July 2025].
- WIECH, Martin, BIENFAIT, André M., SILVA, Marta, BARRE, Julien, SELE, Veronika, BANK, Michael S., BÉRAIL, Sylvain, TESSIER, Emmanuel, AMOUROUX, David and AZAD, Atabak M., 2024. Organ-specific mercury stable isotopes, speciation and particle measurements reveal methylmercury detoxification processes in Atlantic Bluefin Tuna. *Journal of Hazardous Materials*. Online. 15 July 2024. Vol. 473, p. 134699. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2024.134699. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304389424012780> [Accessed 22 July 2025].
- WU, Mengjie, DONG, Qingli, YAN, Hui, SONG, Yiyang, LIU, Yangtai, HIRATA, Takashi and LI, Zhuosi, 2023. Bacteriostatic potential of nisin and sesamol combination against *Listeria monocytogenes* in chilled raw tuna fillets. *LWT*. Online. 15 June 2023. Vol. 183, p. 114924. DOI: 10.1016/j.lwt.2023.114924. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0023643823005030> [Accessed 22 July 2025].
- XUAN, Junyong, XIA, Qiuyu, TU, Yinyi, LUO, Tingyu, MAO, Qingya, HAN, Zongyuan, BARROW, Colin J., LIU, Shucheng and WANG, Bo, 2023. Effect of enzymatically produced tuna oil acylglycerol on the characteristics of gelatin O/W emulsion during microencapsulation using complex coacervation. *LWT*. Online. 1 December 2023. Vol. 190, p. 115580. DOI: 10.1016/j.lwt.2023.115580. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0023643823011593> [Accessed 22 July 2025].
- ZAMBRANO-ALCÍVAR, Janina and ZAMBRANO-CASTRO, Laura, 2020. Análisis de la industria atunera: Clúster, cadena de valor productiva y productividad. *593 Digital Publisher CEIT*. Online. 13 September 2020. Vol. 5–1, no. 5, p. 263–271. DOI: 10.33386/593dp.2020.5-1.358. Available from: https://www.593dp.com/index.php/593_Digital_Publisher/article/view/358 [Accessed 22 July 2025].