



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
CARRERA DE LABORATORIO CLÍNICO

TRABAJO DE TITULACIÓN

Modalidad Publicaciones Científicas/Capítulo de Libro

Tema:

Detección de Mercurio en especies de *Thunnus*: Método Preciso para
Seguridad Alimentaria

Autores:

Delgado Zambrano Gema Liseth
Soledispa Mecias Michael Smith

Tutor:

Ing. Patricio Santana Ponce

Periodo 2025-2

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

La estudiante Gema Liseth Delgado Zambrano, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación: “Detección de Mercurio en especies de *Thunnus*: Método Preciso para Seguridad Alimentaria”, modalidad de trabajo de integración curricular publicaciones científicas/capítulo de libro, de conformidad con el Art. 114 del Código orgánico de la economía social de los conocimientos, creatividad e innovación, concedo a favor de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de esta producción, con fines estrictamente académicos. Así mismo, autorizamos a la Uleam de Manta, para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de titulación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que este informe objeto de la presente autorización, es original en su forma de expresión y no infringe el derecho del autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Uleam.

AUTOR:



Gema Liseth Delgado Zambrano

CI. 1317055521

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

El estudiante Michael Smith Soledispa Mecias, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación: “Detección de Mercurio en especies de *Thunnus*: Método Preciso para Seguridad Alimentaria”, modalidad de trabajo de integración curricular publicaciones científicas/capítulo de libro, de conformidad con el Art. 114 del Código orgánico de la economía social de los conocimientos, creatividad e innovación, concedo a favor de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de esta producción, con fines estrictamente académicos. Así mismo, autorizamos a la Uleam de Manta, para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de titulación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que este informe objeto de la presente autorización, es original en su forma de expresión y no infringe el derecho del autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Uleam.

AUTOR:



Michael Smith Soledispa Mecias

CI. 1315554962

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1 Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad Ciencias de la Salud/ Manta de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría de la estudiante **Delgado Zambrano Gema Liseth**, legalmente matriculada en la carrera de Laboratorio Clínico, período académico 2025-2, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto de investigación es **"DETECCIÓN DE MERCURIO EN ESPECIES DE THUNNUS: MÉTODO PRECISO PARA SEGURIDAD ALIMENTARIA"**.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 19 de enero de 2026.

Lo certifico


Ing. Stalin Patricio Santana Ponce, Mg.
Docente Tutor(a)
Área: Ciencias de la Salud

Nota 1: Este documento debe ser realizado únicamente por el/la docente tutor/a y será receptado sin enmendaduras y con firma física original.

Nota 2: Este es un formato que se llenará por cada estudiante (de forma individual) y será otorgado cuando el informe de similitud sea favorable y además las fases de la Unidad de Integración Curricular estén aprobadas.

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1
		Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad Ciencias de la Salud/ Manta de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante **Soledispa Mecias Michael Smith**, legalmente matriculado en la carrera de Laboratorio Clínico, período académico 2025-2, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto de investigación es **"DETECCIÓN DE MERCURIO EN ESPECIES DE THUNNUS: MÉTODO PRECISO PARA SEGURIDAD ALIMENTARIA"**.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 19 de enero de 2026.

Lo certifico

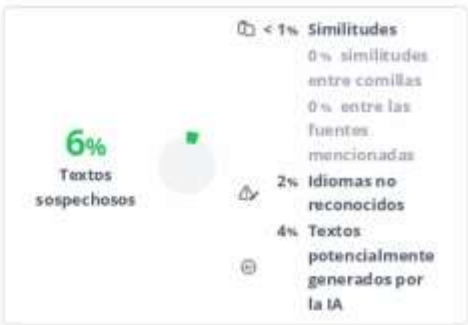

 Ing. Stalin Patricio Santana Ponce, Mg.
 Docente Tutor(a)
 Área: Ciencias de la Salud

Nota 1: Este documento debe ser realizado únicamente por el/la docente tutor/a y será receptado sin enmendaduras y con firma física original.

Nota 2: Este es un formato que se llenará por cada estudiante (de forma individual) y será otorgado cuando el informe de similitud sea favorable y además las fases de la Unidad de Integración Curricular estén aprobadas.



Detección de Mercurio, Método Preciso para Seguridad Alimentaria(1)



Nombre del documento: Detección de Mercurio, Método Preciso para Seguridad Alimentaria(1).docx	Depositante: STALIN PATRICIO SANTANA PONCE	Número de palabras: 5441
ID del documento: 74dce4944ae75cc7fea9f38112ddcd5bad2a0595	Fecha de depósito: 23/2/2026	Número de caracteres: 34.854
Tamaño del documento original: 1,3 MB	Tipo de carga: interface	
	fecha de fin de análisis: 23/2/2026	



Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	acceda.cris.ulpgc.es Ingesta de contaminantes tóxicos persistentes : riesgo asociado...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (11 palabras)
2	Documento de otro usuario @dce09c Vine de de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (10 palabras)

Dedicatoria

Dedico este trabajo, en primer lugar, a mis padres, quienes han sido mi mayor motivación. Gracias por su amor, esfuerzo y apoyo incondicional que hicieron posible que pudiera culminar esta etapa tan importante de mi vida. Gracias por creer en mí, por motivarme y por ser la base firme que me permitió alcanzar esta meta. Este logro lleva sus nombres tanto como el mío.

A mi familia en general, por su constante respaldo y comprensión a lo largo de este proceso.

A mi tutor y compañero de tesis, y a todas las personas que, de una u otra manera, fueron parte de este camino, brindándome apoyo, orientación y ánimo para no rendirme.

- ***Gema Delgado Zambrano***

Dedicatoria

Dedico este logro, que representa esfuerzo, desvelos y aprendizajes, a Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza en cada paso de este camino.

A mi padre, por su responsabilidad y perseverancia, gracias por enseñarme que las metas se alcanzan con sacrificio y constancia, por cada consejo firme y por cada gesto silencioso de apoyo. Tu esfuerzo diario ha sido siempre mi mayor motivación para no rendirme. A mi madre, por su amor incondicional y su infinita paciencia, gracias por acompañarme en cada etapa, por escucharme y por sostenerme cuando el cansancio parecía superarme. Tus palabras de ánimo y tu confianza en mí fueron el impulso que necesitaba para seguir adelante. A mi hermana, por su compañía sincera, por creer en mí y por recordarme, incluso en los momentos más pesados que no estaba solo.

A mi tutor de tesis, por su paciencia, orientación y compromiso. Gracias por dedicar tiempo a guiarme y cada palabra de motivación. Su acompañamiento fue clave para convertir este proyecto en una meta alcanzada. A mis amistades y docentes que formaron parte de mi trayectoria universitaria, que hicieron de esta etapa una experiencia de crecimiento no solo académico, sino también personal. Agradezco de manera especial a mi compañera de tesis, por su compromiso, responsabilidad y dedicación a lo largo de este proceso. Gracias por cada hora de trabajo compartida, por el apoyo mutuo en los momentos de estrés y por la paciencia para superar juntos cada dificultad.

Este logro no es solo mío, sino de todos ustedes, que caminaron a mi lado y creyeron en mí.

- ***Michael Soledispa Mecias***

Agradecimiento

Agradezco con todo mi amor y cariño a mis padres, porque han sido la base y el impulso más grande para culminar este proceso. Gracias por su amor incondicional, por su paciencia en los momentos más difíciles, por el apoyo que me han brindado y sacrificios que han hecho. Este logro es tanto suyo como mío, porque cada paso que doy está guiado por los valores, la dedicación y el cariño con los que me han formado. Hoy culmino esta etapa con el corazón lleno de gratitud hacia ustedes, porque sin su apoyo nada de esto habría sido posible.

Asimismo, agradezco a cada una de las personas que formaron parte de este proceso. Sobre todo, a aquella persona en especial que, de manera constante, me alentaba y me brindó su apoyo. Gracias por creer en mí y por ofrecerme palabras de aliento cuando más las necesitaba.

También extendiendo mi sincero agradecimiento a mi tutor de tesis, Ing. Patricio Santana, cuya guía, compromiso y disposición fueron esenciales para el desarrollo de este proyecto. Agradezco su tiempo, su profesionalismo, su orientación académica y su dedicación que hicieron posible que este trabajo se fortaleciera y avanzara con claridad. De igual manera, quiero agradecer a los docentes que formaron parte de mi formación académica y que, con sus conocimientos y apoyo, contribuyeron de manera significativa a mi crecimiento profesional y personal.

- ***Gema Delgado Zambrano***

Agradecimiento

A lo largo de estos años de estudio he tenido la fortuna de estar rodeado de personas maravillosas que de una u otra forma han marcado mi camino y contribuido a mi crecimiento no solo académico, sino también personal. Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi papá, a mi mamá y mi hermana quienes han sido mi apoyo constante e incondicional incluso en los momentos más difíciles de esta etapa de formación profesional. A mis amistades, gracias por hacer este camino más ligero y lleno de momentos que siempre llevaré conmigo. A mis docentes, por compartir sus conocimientos con paciencia, entrega y vocación.

- ***Michael Soledispa Mecias***

INDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN -----	11
INTRODUCCIÓN-----	13
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA -----	14
Mercurio-----	14
Fuentes de exposición de mercurio en peces -----	15
Metilación y captación de mercurio en peces-----	15
Intoxicación por mercurio: Efectos adversos a la salud humana-----	16
Límite permisible de Hg en pescado -----	17
Método de análisis: Espectrometría de absorción atómica (AAS)-----	18
MATERIALES Y MÉTODOS -----	18
Diseño de la investigación-----	18
Muestreo -----	18
Método analítico -----	19
Determinación del Cociente de Riesgo Objetivo (THQ)-----	20
RESULTADOS -----	21
Evaluación del riesgo no carcinogénico -----	23
DISCUSIÓN -----	24
CONCLUSIONES-----	26
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS -----	28

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites máximos permisibles de Hg en pescado -----	17
Tabla 2. Concentraciones de HgT en especies de Thunnus -----	22
Tabla 3. Promedio de valores de cocientes de peligrosidad (THQ) -----	23

ÍNDICE DE GRÁFICO

Gráfico 1. Área de muestra (Océano Pacífico, Manta-Ecuador)-----	19
--	----

Detección de Mercurio en especies de *Thunnus*: Método Preciso para Seguridad Alimentaria

Mercury Detection in Thunnus Species: Accurate Method for Food Safety

Gema Liseth Delgado Zambrano

<https://orcid.org/0009-0000-7658-5314>

e1317055521@live.ulead.edu.ec

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí

Michael Smith Soledispa Mecias

<https://orcid.org/0009-0000-5422-7698>

e1315554962@live.ulead.edu.ec

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí

Stalin Patricio Santana Ponce

<https://orcid.org/0000-0002-6133-9126>

stalin.santana@ulead.edu.ec

Magister en Ingeniería Industrial

Mención en Sistemas Integrados de Gestión

Docente de Laboratorio Clínico

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí

RESUMEN

Introducción: El mercurio (Hg) es un metal tóxico que afecta significativamente la salud humana, causando daño particularmente en los sistemas nervioso, inmunológico y renal. **Objetivo:** Determinar la concentración de mercurio en especies de *Thunnus* distribuidas en el mercado de mariscos Playita Mía de la ciudad de Manta y su relación con la salud de sus consumidores. **Materiales y Métodos:** Estudio observacional descriptivo transversal en el que se determinó las concentraciones de Hg en *Thunnus albacares* y *Thunnus obesus* mediante muestreo por conveniencia. Las muestras se analizaron por espectrometría de absorción atómica (AAS), tras digestión ácida. Para evaluar los riesgos asociados al consumo, se calcularon cocientes de

peligrosidad (THQ) y se compararon los resultados con los límites establecidos por organismos internacionales. **Resultados:** Según regulaciones del Codex Alimentarius y la Norma Técnica Ecuatoriana varias muestras se encontraron por encima de la concentración máxima permitida de Hg, obteniéndose concentraciones medias de 1,67 ($\pm 1,19$) mg/kg para *T. albacares* y 1,62 ($\pm 1,21$) mg/kg para *T. obesus*. **Conclusión:** El THQ fue mayor a 1 para adultos de la zona pesquera que consumen estas especies de atún más de una vez por semana, estos datos evidencian que existen un riesgo no carcinogénico para la salud.

Palabras claves: mercurio, *Thunnus*, intoxicación, espectrofotometría de absorción atómica, riesgo a la salud.

ABSTRACT

Introduction: Mercury (Hg) is a toxic metal that significantly affects human health, causing damage particularly to the nervous, immune, and renal systems. **Objective:** To determine the mercury concentration in *Thunnus* species distributed in the Playita Mía seafood market in the city of Manta and its relationship with the health of its consumers. **Materials and Methods:** Cross-sectional descriptive observational study in which Hg concentrations in *Thunnus albacares* and *Thunnus obesus* were determined through convenience sampling. Samples were analyzed by atomic absorption spectrometry (AAS), after acid digestion. To assess the risks associated with consumption, target hazard quotients (THQ) were calculated and results were compared with limits established by international organizations. **Results:** According to Codex Alimentarius and the Ecuadorian Technical Standard, several samples were found above the maximum permitted Hg concentration, with mean concentrations of 1.67 (± 1.19) mg/kg for *T. albacares* and 1.62 (± 1.21) mg/kg for *T. obesus*. **Conclusion:** The THQ was greater than 1 for adults in the fishing area who consume these tuna species more than once per week, these data demonstrate that a non-carcinogenic health risk exists.

Keywords: mercury, *Thunnus*, poisoning, atomic absorption spectrophotometry, health risk.

INTRODUCCIÓN

El pescado es un alimento ampliamente recomendado debido a su elevado aporte nutricional, ya que constituye una esencial fuente de proteínas, vitaminas, minerales y ácidos grasos poliinsaturados omega-3 (Dragan, y otros, 2023). Estos compuestos lipídicos son fundamentales para el crecimiento y desarrollo humano, el fortalecimiento del sistema inmunológico (Zaloga, 2021), además, se ha demostrado que contribuyen a la protección del sistema cardiovascular mediante la disminución de los niveles de triglicéridos, procesos inflamatorios y arritmias, así mismo, reducen el riesgo de desarrollar enfermedades neurológicas, metabólicas y ciertos tipos de cáncer (Das, y otros, 2024).

Sin embargo, la contaminación de los ecosistemas acuáticos como consecuencia de actividades antropológicas ha favorecido la presencia de diversos contaminantes ambientales y químicos en pescados y mariscos destinados al consumo humano. Esta situación incrementa el riesgo de exposición de la población a sustancias potencialmente tóxicas. Entre estos contaminantes, los metales pesados destacan por su elevada persistencia en el ambiente y por su alta toxicidad (Garofalo , y otros, 2025).

Los peces son parte del grupo de alimentos que pueden acumular en su organismo grandes cantidades de metales traza como el mercurio (Hg) y otros metales pesados. El Hg ingresa al entorno acuático principalmente en su forma inorgánica, la cual se transforma en metilmercurio (MeHg) a través de procesos de metilación mediados por microorganismos (Gębka, Saniewska, & Beldowska , 2020). El MeHg es la forma más tóxica del Hg y puede constituir hasta el 90% del contenido total que se encuentra presente en los peces (Brodziak-Dopierała & Fischer, 2023). Asimismo, su concentración tiende a incrementarse progresivamente a lo largo de la cadena alimentaria, dando lugar a un proceso de biomagnificación en los ecosistemas marinos de niveles tróficos superiores, lo que afecta no solo a los organismos acuáticos, sino también a la salud humana por medio del consumo del pescado contaminado con Hg (Łuczyńska, Łuczyński, Nowosad, Kowalska-Górska, & Senze, 2022).

De acuerdo con el Codex Alimentarius, el metilmercurio constituye la mayor parte del mercurio total en la mayoría de las especies marinas, motivo por el cual se han establecido límites máximos permisibles de 1 mg/kg para peces depredadores de gran tamaño y de 0,5 mg/kg para el resto de especies destinadas al consumo humano (FAO, WHO, 2005). Diversos estudios (Basta, y otros,

2023), (de Souza Hacon, y otros, 2020) (Storelli, Barone, Garofalo, Busco, & Storelli, 2022), (Azadeh, Takdastan, Haghighi Fard, Babaei, & Alivand, 2022), (Day. , y otros, 2020), (Liu, Chen, Chen, Chen, & Hwang, 2023) (Romero Romero, García Ordiales, Roqueñí, & Acuña, 2022), han reportado concentraciones de Hg en diferentes especies de pescados que superan los límites máximos permisibles establecidos por normas internacionales, lo que expone una fuerte relación entre los niveles altos de Hg en pescado y sus efectos adversos en la salud humana. Este problema resalta la necesidad de asegurar la inocuidad de las especies de pescado de mayor consumo humano.

La presencia de Hg en los alimentos constituye una amenaza para la seguridad alimentaria. Actualmente en la ciudad de Manta, no se cuenta con datos actualizados acerca de las concentraciones de Hg en especies de pescado de alto consumo en la comunidad, como lo es el atún (*Thunnus* spp.). La ausencia de esta información dificulta evaluar adecuadamente los riesgos para la salud pública como la formulación de guías que orienten a la población sobre prácticas de consumo seguro. Por ello, el presente estudio tiene como objetivo determinar la concentración de Hg en *Thunnus albacares* (Yellowfin Tuna) y *Thunnus obesus* (Bigeye Tuna) comercializados en el Mercado Minorista de Mariscos Playita Mía de la ciudad de Manta, con la finalidad de conocer si las concentraciones de Hg que se pudiesen encontrar en estas especies suponen un riesgo para la salud de la población.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Mercurio

El mercurio (Hg) es un contaminante de elevada toxicidad que representa una amenaza global para la salud humana debido a su capacidad de afectar múltiples sistemas orgánicos, incluyendo el nervioso, renal, cardiovascular, reproductivo e inmunológico, además de provocar efectos teratogénicos (Panduro, y otros, 2020) (Yang, y otros, 2020). La Organización Mundial de la Salud (OMS), reconoce que el Hg está incluido entre las 10 principales sustancias químicas de mayor impacto en la salud pública (WHO, 2024).

El Hg se presenta en tres formas principales: elemental (Hg₀), inorgánica y orgánica. El grado de toxicidad depende de la forma química del Hg, siendo los compuestos orgánicos, como el MeHg los más tóxicos debido a su alta absorción intestinal y a su tendencia a biomagnificarse a lo largo

de la cadena trófica (Pawlaczyk , Przerywacz , Gajek , & Szynkowska-Jozwik, 2020) (Saidon, Szabó , Budai, & Lehel, 2024).

El MeHg es clasificado por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) como posiblemente carcinogénico para los seres humanos (Grupo 2B), mientras que el Hg⁰ y los compuestos inorgánicos no se consideran carcinogénicos (Grupo 3) al no contar con evidencia suficiente (IARC, 1993).

Fuentes de exposición de mercurio en peces

El Hg es liberado al ambiente por procesos naturales como por actividades antropogénicas. Entre las fuentes naturales se incluyen las erupciones volcánicas, los suelos, regiones geológicas con alto contenido de Hg, así como los incendios forestales. A pesar de estas fuentes, la mayor parte de las emisiones de Hg proviene de fuentes antropogénicas. La minería artesanal y de pequeña escala de oro constituye la principal causa de emisiones, seguida por la industria energética y la combustión de carbón. Además, el mercurio residual desechado de dispositivos médicos, como termómetros, amalgama dental y artículos domésticos, como lámparas de noche fluorescentes o termostatos, contribuye a la contaminación ambiental por Hg (Charvát, Klimes, Pospíšil, Klemeš, & Varbanov, 2020) (Barocas, y otros, 2023).

Metilación y captación de mercurio en peces

El Hg se libera generalmente como Hg⁰, el cual puede ser transportado a largas distancias y transformarse en especies inorgánicas mediante procesos fotoquímicos, depositándose posteriormente en el suelo y cuerpos de agua. En ambientes acuáticos, estas formas inorgánicas se transforman en compuestos orgánicos de mayor toxicidad a través de procesos químicos y de la actividad microbiana. En particular, los microorganismos anaeróbicos, como las bacterias reductoras de sulfato y de hierro, son las responsables de la formación del MeHg a través de su vía metabólica (Demelash Abera & Alefe Adimas, 2024). Dado que el Hg ionizado no puede ingresar directamente a las células bacterianas, estos microorganismos lo transforman en sulfuro de Hg (HgS) una forma que puede ingresar a la membrana bacteriana. Posteriormente, el gen *hgcAB* de las bacterias interviene en la metilación del HgS, liberando finalmente MeHg al agua (Jeong, Ali, Zinck, Souissi, & Lee, 2024).

Este compuesto presenta la mayor biodisponibilidad, lo que favorece su bioacumulación en los tejidos musculares de los peces y su biomagnificación a lo largo de la cadena trófica, alcanzando mayores concentraciones en especies depredadoras de gran tamaño (Grace Pavithra, SundarRajan, Senthil Kumar, & Rangasamy, 2023), como los atunes (Demelash Abera & Alefe Adimas, 2024).

Intoxicación por mercurio: Efectos adversos a la salud humana

El Hg es un contaminante global que persiste en el medio ambiente y constituye una grave amenaza para los seres humanos. El MeHg se absorbe de forma rápida en el tracto gastrointestinal incorporándose al organismo y distribuyéndose hacia distintos tejidos (Ye, y otros, 2016). Además, su naturaleza lipofílica le confiere la capacidad de atravesar con facilidad las barreras biológicas como la placenta y la barrera hematoencefálica, lo que explica su elevada toxicidad crónica (Wu, y otros, 2024) (Jan, Wallace, Vejrup, & Jan, 2020). Asimismo, la toxicidad del Hg se manifiesta de manera acumulativa, dado que su eliminación del organismo es lenta, lo que incrementa el riesgo de efectos adversos asociados a exposiciones prolongadas, incluso a concentraciones relativamente bajas (ATSDR / CDC, 2021).

La exposición al Hg puede provocar diversos efectos perjudiciales para la salud humana, entre los que se incluyen efectos neurotóxicos (Branco, Aschner, & Carvalho, 2021), nefrotóxicos (Gao , y otros, 2022), inmunotóxicos (Bjørklund, y otros, 2020), genotóxicos (Sánchez Alarcón, y otros, 2021) y toxicidad en el desarrollo (Jan, Wallace, Vejrup, & Jan, 2020). No obstante, la neurotoxicidad y la nefrotoxicidad son los efectos mejor documentados. La acumulación de este metal en los riñones se asocia con daño tubular y síndrome nefrótico, mientras que su depósito en el cerebro induce disfunciones neurológicas y alteraciones del comportamiento (Gao , y otros, 2022) (Charkiewicz, Omeljaniuk, Garley, & Nikliński, 2025). Los síntomas derivados de la neurodegeneración, asociados principalmente al estrés oxidativo, abarcan una variedad de deficiencias, incluyendo de la coordinación motora comprometida, la disfunción de los sistemas sensoriales visual y táctil y, en casos graves, la parálisis (Dragan, y otros, 2023) (Wu, y otros, 2024). Asimismo, la exposición al Hg se ha relacionado con daño al nivel cardiovascular (Amin, y otros, 2025), hepático (Renu, y otros, 2021), y reproductivo (Carvalho, Loureiro, Fardilha , & Herdeiro , 2019), aunque con un menor grado de evidencia en comparación con el daño neurológico.

Tras su absorción intestinal, el MeHg se distribuye preferentemente hacia el sistema nervioso central, donde se acumula y da lugar a una exposición crónica. En función del nivel y la duración de la exposición, esta acumulación puede causar efectos adversos para la salud, caracterizados por disfunción neuronal y procesos neurodegenerativos, contribuyendo a la aparición de alteraciones del desarrollo neurológico y enfermedades neurodegenerativas (Charkiewicz, Omeljaniuk, Garley, & Nikliński, 2025) (WHO, UNEP, 2008). La susceptibilidad es especialmente elevada durante las etapas tempranas de la vida, por lo que las mujeres embarazadas con el feto, además del neonato y el niño pequeño representan los grupos más vulnerables a la neurotoxicidad inducida por MeHg (Chen & Dong, 2022). La exposición transplacentaria es un problema significativo, ya que el cerebro fetal en desarrollo presenta una alta sensibilidad, de modo que mujeres embarazadas aparentemente asintomáticas o con síntomas leves pueden dar lugar a un aborto espontáneo, parto prematuro, discapacidad congénita en el recién nacido y desarrollo irregular del feto (Wu, y otros, 2024) (Chen & Dong, 2022). Las consecuencias neurológicas asociadas a la exposición prenatal y temprana incluyen alteraciones del neurodesarrollo, discapacidad intelectual, convulsiones, trastornos del lenguaje, pérdida de memoria, así como déficits sensoriales visuales y auditivos, y en casos severos, parálisis cerebral (WHO, 2021) (Jan, Wallace, Vejrup, & Jan, 2020).

Límite permisible de Hg en pescado

Los valores máximos de Hg permisible para su ingesta varían según la legislación y el género del pez. En el presente estudio se tomarán en cuenta los límites máximos permisibles de Hg para atún establecido en el Codex Alimentarius, como Normativa Internacional, y en la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE). En la Tabla 1 se muestran los niveles máximos de Hg que es permitido en pescado para su consumo.

Tabla 1. Límites máximos permisibles de Hg en pescado

Metal	Producto	Contenido máximo	Fuente
MeHg (CH₃Hg)	Atún	1,2 Mg/Kg	Codex Alimentarius, 2018 (FAO, WHO, 2018)
Hg	Pescado fresco, refrigerado o congelado	0,5 Mg/Kg	NTE INEN 183:2013 (Instituto Ecuatoriano

Notas explicativas: Límites regulatorios de Hg en pescado según normativa internacional y ecuatoriana; Norma Técnica Ecuatoriana (NTE); Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN)

Método de análisis: Espectrometría de absorción atómica (AAS)

Es el método analítico más utilizado para la cuantificación de metales pesados. El principio de funcionamiento se basa en la medición de la atenuación de la intensidad de un haz de luz a una longitud de onda determinada, en la cual el elemento de interés muestra una absorción característica. Por lo tanto, la selección de la longitud de onda depende del analito que se quiera determinar. Entre las principales ventajas de la AAS se destaca su alta selectividad, precisión, sensibilidad y baja susceptibilidad de interferencias (Krüger, Weng, & Baecker, 2024) (Shuang , y otros, 2024).

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño de la investigación

Esta investigación es de diseño observacional descriptivo transversal el cual se basa en encontrar las concentraciones de mercurio en *Thunnus albacares* y *Thunnus obesus* más consumidas en el mercado local “Playita Mía” playa localizada en Manta, Ecuador.

Muestreo

Se recolectaron muestras del tejido muscular del pescado, 15 para cada especie respectivamente, posteriormente fueron trasladadas en bolsas plásticas respetando la cadena de frío para evitar la descomposición de las mismas hasta que sean analizadas en el laboratorio. Mediante un muestreo por conveniencia y tomando en cuenta la población no probabilística se establecieron criterios de inclusión como es el caso de carne fresca de pescado, tallas medianas y grandes de peces. Por otro lado, se excluyeron las carnes en estado de descomposición, tallas pequeñas de peces y especies que difieran al objeto de estudio.

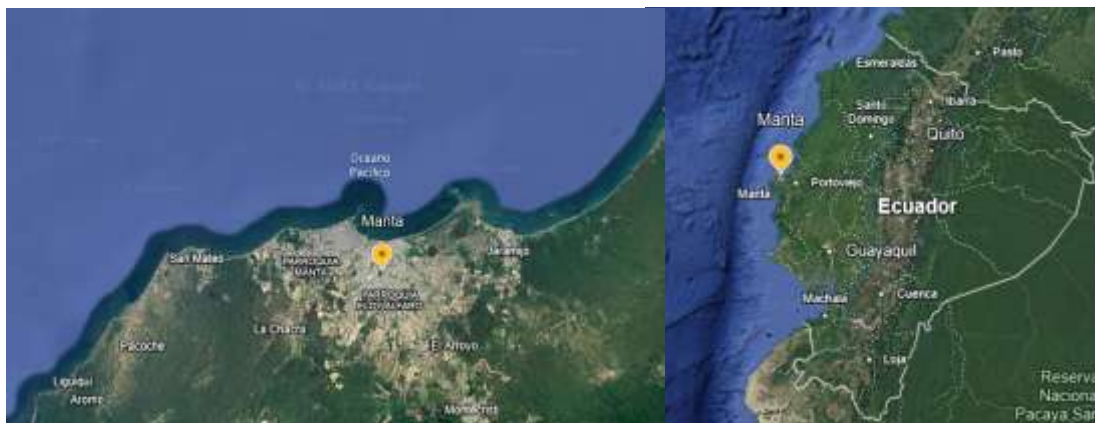


Gráfico 1. Área de muestra (Océano Pacífico, Manta-Ecuador)

Método analítico

La espectrofotometría de absorción atómica mediante generación de hidruros por vapor frío es el método estándar para determinar las cantidades de metales trazas en las muestras de pescados. Para empezar, se debe lavar todos los instrumentos con agua tipo 2 y jabón neutro, después se procede a enjuagar con agua tipo 2 y finalizar con agua tipo 1. Posteriormente para la correcta esterilización de las probetas y los balones aforados se utiliza el equipo de ultrasonido UIP1000hdT generator durante unos 40 minutos, gracias a las vibraciones que el equipo emana permite desprender cualquier residuo de los instrumentos a usar.

Luego la muestra se receipta en el área de análisis organoléptico y se etiqueta con su código correspondiente, posteriormente se procede a cortar en tres zonas la muestra de pescado fresco; superior, media e inferior.

Ahora bien, después de haber triturado la muestra en un procesador de alimentos se lleva a la balanza y mediante un tubo de teflón se pesa 1 gramo de muestra, luego se le añade 10 mL de HNO_3 y 2 ml de H_2O_2 . Una vez de haber preparado las muestras con las soluciones ácidas se lleva al digestor microondas, este equipo funciona con 4 rampas consecutivas de temperatura que son las siguientes. La primera rampa va de 158 grados centígrados durante 15 minutos, la segunda a 170 grados centígrados a 10 minutos, la 3 rampa va de 185 grados centígrados a 10 minutos y la 4 rampa en 200 grados centígrados por 15 minutos. Gracias a este proceso de digestión la muestra pasa de un estado sólido a líquido lo que facilita el procesamiento.

Antes de iniciar el procesamiento en el equipo de absorción atómica PinAAcle 900T, se debe activar primero el gas de argón de la bodega y luego el regulador superior del equipo, para que posea una óptima liberación y transporte del vapor de Hg se verifica la presión a 40 psi.

Además, se debe realizar la elaboración de la curva de calibración para Hg se usan cinco estándares y un blanco para poder obtener resultados cuantitativos, y se prepara mediante diluciones seriadas. El blanco se prepara con agua tipo 1 y ácido nítrico, luego para preparar la solución madre se usa 1 mL del estándar para Hg de absorción atómica en un balón aforado de 100 ml y con los cinco estándares se añade un poco de agua tipo 1 adicionando 1,5 ml de ácido nítrico. Para finalizar con una pipeta aforada se debe añadir 10 ml de la solución madre a los cinco balones aforados de estándares y se afora con agua tipo 1, hay que tener en cuenta que en cada preparación se debe homogenizar las soluciones y con ella se obtiene una alta precisión.

Para la lectura de las muestras se procede a lavar el tubo de bromuro de hidruro con agua destilada, luego se le añade 5 gotas de yoduro de potasio (KI) al blanco y también a los estándares preparados para la curva, gracias al KI permite estabilizar las muestras y mejorar la sensibilidad. Una vez verificado que nuestra curva de calibración este dentro de los parámetros correctos, se procede a preparar nuestra muestra final la cual contiene 10 ml del digestado, además también se la añaden 5 gotas de KI. Una vez hecho este procedimiento se inicia la medición 1 segundo después de dar inicio en software de allí se pulsa el botón que libera el bromuro de hidruro, el cual reacciona con nuestra muestra final dando como resultado el hidruro de mercurio (HgH_2), este se va a impulsar hacia la celda de cuarzo del equipo y la lámpara específica de Hg, va a emitir unos 185 nm permitiendo absorber el 70% de la energía absorbida en este rango, finalmente la señal se traslada al monocromador facilitando la discriminación de la longitud de onda y con ello permitiendo el cálculo cuantitativo en $\mu g/L$, a este resultado se lo multiplica por el volumen de aforo expresado en mililitros (50 ml) sobre la cantidad de masa de la muestra expresado en gramos y finalmente se divide para 1000 obteniendo el resultado en mg/Kg .

Determinación del Cociente de Riesgo Objetivo (THQ)

Si bien, el análisis de las concentraciones de HgT posibilitan identificar el grado de contaminación presente en las especies de *Thunnus*, estos valores por sí solos no permiten estimar el riesgo potencial para la salud. En este contexto, se realizó una evaluación del riesgo no carcinogénico

mediante el THQ, la cual posibilita estimar la probabilidad de efectos adversos asociados al consumo de estas especies.

El THQ es un índice que se utiliza como indicador para evaluar el riesgo de la salud que pueden expresar los riesgos carcinogénicos, evaluando el resultado del valor del contaminante, en este caso los niveles encontrados de mercurio en las especies de pescados en relación con los niveles de dosis oral ingeridas de la población. Teniendo en cuenta que un valor <1, indica que no existe un posible riesgo de efectos secundarios a las personas expuestas a este metal contaminante. Para ello, se utilizó la siguiente fórmula (US Environmental Protection Agency, 2000) (Oktarian, y otros, 2023).

$$THQ = \frac{Efr \times ED_{tot} \times FIR \times C}{RFD_o \times Bwa \times Atn} \times 10^{-3}$$

Desglosando los parámetros de la fórmula podemos encontrar que cada parámetro representa un dato fundamental para la determinación de los cocientes de riesgo, en dónde, Efr: es la frecuencia de exposición de mercurio 52 (días/año) para una población nacional y 156 (días/año) para una población pesquera, ED_{tot}: es el período de exposición (Adulto: 70 años, Niños: 6 y 12 años) (Yáñez-Jácome, Romero-Estévez, Vélez-Terreros, & Navarrete, 2023), FIR: Nivel de comida ingerido: Adultos: 0,142 (kg/semana) para una población nacional; y 0,186 (kg/semana) para una población pesquera; Niños: de 6 años 0,057 (kg/semana); y 12 años 0,113 (kg/semana) (FDA, EPA, 2024), C: es la concentración del metal pesado (mg/kg), RFD_o: siendo este las referencias de la dosis oral, siendo 0,0001 mg/kg/día (EPA, 2013), Bwa: que es el peso corporal basado en edades Adulto (70 kg), Niños: 6 años (20 kg) y 12 años (45 kg) (WHO, s.f.), Atn: Período de exposición de no carcinogénesis (ED_{tot} x 365)(días).

RESULTADOS

A partir de los datos obtenidos para ambas especies, se observa un incremento progresivo en las concentraciones de mercurio (Hg) conforme avanza el número de muestra, lo que sugiere que existe una variabilidad biológica importante entre los individuos analizados. En *T. obesus*, las concentraciones inician en valores bajos (0,11 mg/kg), pero superan rápidamente el umbral de 1 mg/kg en varias muestras posteriores, alcanzando picos de hasta 2,437 mg/kg. (véase en la Tabla 2). Este comportamiento indica que, dentro de esta especie, algunos individuos presentan acumulaciones sustancialmente superiores al promedio, probablemente asociadas a factores como edad, tamaño o posición en la cadena trófica.

En el caso de *T. albacares*, aunque también se evidencia un aumento progresivo, los valores son sistemáticamente menores que los observados en *T. obesus* para la mayoría de las muestras. Las concentraciones oscilan desde 0,11 mg/kg hasta un máximo de 2,203 mg/kg (véase en la Tabla 1), con una distribución menos abrupta que la de *T. obesus*. Sin embargo, pese a ser menores en varios puntos comparativos, la especie alcanza niveles elevados que merecen atención, mostrando que ambas especies tienen potencial de bioacumular Hg en rangos preocupantes.

Se identificó una tendencia consistente al comparar ambas series de datos: *T. obesus* exhibe niveles más elevados en la mayoría de las muestras analizadas, indicando una mayor susceptibilidad a la bioacumulación de mercurio. Esta diferencia interespecífica constituye un resultado fundamental para la evaluación del riesgo toxicológico, concretamente desde la perspectiva del consumo humano y la vigilancia ambiental.

Por último, el análisis integrado de los datos demuestra que múltiples muestras de ambas especies sobrepasan los límites recomendados, lo que refuerza la necesidad de un seguimiento y control continuo. Además de que la presencia de Hg no es homogénea y que su acumulación responde a patrones biológicos y ecológicos que deben investigarse a profundidad.

Tabla 2. Concentraciones de HgT en especies de *Thunnus*

Muestra	Concentración de Hg de <i>T. obesus</i> (mg/kg)	Concentración de Hg de <i>T. albacares</i> (mg/kg)
1	0,11	0,11
2	0,11	0,211
3	0,11	0,242
4	0,563	0,276
5	0,588	0,289
6	0,697	0,65
7	0,885	0,815
8	0,897	0,948
9	0,901	1,249
10	0,967	1,322
11	1,353	1,35
12	1,367	1,854
13	1,487	1,918
14	2,437	2,002
15	2,515	2,203

Notas explicativas: Concentraciones de Hg de ambas especies estudiadas

Fuente: elaboración propia

Evaluación del riesgo no carcinogénico

Mediante las quince concentraciones obtenidas por cada especie de pescado se logró calcular los cocientes de riesgo objetivo considerando diferentes escenarios de consumo. En este estudio, los niños con una edad de 6 años obtuvieron valores de 0,59 para *T. albacares* y 0,58 para *T. obesus*. (véase en la tabla 3). Mientras que en la población infantil de 12 años se evidenció un descenso a 0,52 para *T. albacares* y 0,51 para *T. obesus* lo que indica que se mantienen por debajo del umbral de 1, confirmando que los valores de esta población no representan un peligro toxicológico para los niños.

Tabla 3. Promedio de valores de cocientes de peligrosidad (THQ)

Edad	Población	THQ de Especies	
		<i>Thunnus albacares</i>	<i>Thunnus Obesus</i>
Niños 6 años	Infantil	0,59 (± 0.42)	0,58 (± 0.43)
Niños 12 años	Infantil	0.52 (± 0.37)	0.51 (± 0.38)
Adultos	Zona Nacional	0.43 (± 0.3)	0.41 (± 0.31)
Adultos	Zona Pesquera	1.67 (± 1.19)	1.62 (± 1.21)

Notas explicativas: Valores de THQ en Adultos de población nacional y pesquera, Niños de 6 y 12 años.

Fuente: elaboración propia

Por otro lado, la población Nacional de Adultos en promedio representan un valor inferior al umbral, siendo de 0,43 para *T. albacares* y 0,41 para *T. obesus*, por lo que se consideraría una ausencia similar observado al grupo infantil. No obstante, el patrón cambia en los adultos que se encuentran en la zona pesquera, con 1,67 para *T. albacares* y 1,62 para *T. obesus* (véase en la tabla 3), superando evidentemente el límite permisible del cociente de peligrosidad. Aunque el promedio de los valores superiores a 1 de THQ se concentraron en la comunidad pesquera, se puede destacar que dentro de los cálculos de la población infantil 4 resultados fueron superiores al umbral, por lo que actualmente no representa un gran peligro para los niños, se debe tomar en cuenta que como grupo vulnerable hay que tomar las medidas necesarias para que en un futuro no afecte la salud de los infantes. Además, es de suma importancia recalcar que la población adulta de la zona pesquera se encuentra en riesgo de generar una posible exposición crónica, estimando alrededor del 25% de

estos datos en este grupo específico representando un problema de salud pública resultado específicamente con la exposición de Hg derivado del consumo de pescado.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente estudio evidencian que las concentraciones de HgT en ambas especies del género *Thunnus* comercializadas en el mercado de Playita Mía representan un riesgo a la salud de los consumidores. Se observó que el 46.67% de las muestras de *T. albacares* y el 33.33% de las muestras de *T. obesus* superaron el límite máximo permisible establecido por el Codex Alimentarius. No obstante, al comparar los resultados con la normativa nacional ecuatoriana, el porcentaje de los peces que contienen concentraciones de Hg superiores al límite permitido, se incrementa de manera considerable. De acuerdo con la NTE-INEN 183:2013, el 80% de las muestras de *T. obesus* y el 66.67% de las muestras de *T. albacares* excedieron el límite umbral de HgT establecido por la normativa nacional. Estos resultados indican que una proporción de los peces comercializados localmente no cumplen con los requisitos establecidos para su consumo humano.

En comparación con un estudio realizado en la ciudad de Manta – Ecuador para determinar Hg en peces, demostró que las concentraciones de Hg para *T. albacares* ya se encontraban por encima del límite máximo permisible (Araújo & Cedeño-Macias, 2016). Los datos obtenidos actualmente confirman que después de casi una década, los niveles de Hg siguen manteniéndose elevados, lo que resulta en un riesgo a la salud para aquellas personas que se han mantenido consumiendo esta especie frecuentemente en la última década.

Un estudio realizado en Quito – Ecuador midió el contenido de HgT en varios peces, demostrando que los peces depredadores como el atún tienden a acumular una mayor cantidad de Hg en comparación con los no depredadores, destacando que las concentraciones de Hg fueron mayores en marlín azul, tiburón y dorado en comparación con el pargo y la corvina que tuvieron las concentraciones más bajas de HgT (Yáñez-Jácome, Romero-Estévez, Vélez-Terreros, & Navarrete, 2023). Recientemente, un estudio realizado en las Islas Galápagos demostró la presencia de Hg en diversas especies comerciales pelágicos y demersales. Los resultados evidenciaron que, entre las especies consumibles, *Hyporthodus mystacinus* presentó las mayores concentraciones musculares de Hg (1,26 mg Hg/kg de peso húmedo) de todas las especies demersales. Mientras que, *T. albacares* y *Acanthocybium solandri* mostraron las mayores concentraciones de Hg (0,53

y 0,65 mg Hg/kg de peso húmedo, respectivamente) de las especies pelágicas analizadas en el estudio (Franco Fuentes, y otros, 2023). No obstante, en comparación con el presente estudio, se observa que las concentraciones de Hg para *T. albacares* superan los valores reportados para esta especie en el estudio realizado en Galápagos, lo que sugiere diferencias asociadas a factores ambientales, ecológicos u otros.

Asimismo, un estudio previo reportó mayores concentraciones de HgT (1.4 ± 1.5 mg/kg) en *T. obesus* en comparación con *T. albacares* y *T. alalunga* en el Océano Pacífico Occidental y Central (Houssard, y otros, 2019). De manera similar, otro estudio observó concentraciones más elevadas de Hg en *T. obesus* en relación con *T. albacares*, atribuyendo este comportamiento a características biológicas propias de esta especie de sumergirse en aguas profundas para la búsqueda de su alimento, lo que incrementa su exposición al Hg. En dicho estudio, los individuos de mayor tamaño presentaron concentraciones que superaron los límites permisibles para el consumo humano (Lacerda, Goyanna, Bezerra, & Silva, 2017). En contraste, los resultados difieren con el presente estudio, debido a que ambas especies de atún presentaron concentraciones de HgT que exceden los límites establecidos por las normativas consideradas. De igual modo, una investigación realizada en Polonia expone concentraciones de Hg en atún con una media que no superó los 0.3 mg/kg (Brodziak-Dopierała & Fischer, 2023). Las causas de la discrepancia entre los resultados pueden deberse a las condiciones físicas y químicas del agua, así como con factores ecológicos y biológicos de las zonas de captura y de las poblaciones evaluadas.

Dado que la ingesta de pescado con presencia de Hg puede tener implicaciones para la salud humana, diferentes agencias reguladoras han establecido directrices específicas de consumo basadas en los niveles de Hg encontrados en diferentes géneros y especies de peces. La Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) y la Agencia de Protección Ambiental (EPA), clasifican a *T. albacares* como una opción adecuada para el consumo semanal. Sin embargo, estas instituciones recomiendan evitar el consumo de *T. obesus* cuando presenta un contenido de Hg superior a 0.84 µg/g (FDA, EPA, 2024).

Con respecto a la evaluación del riesgo no carcinogénico del Hg, los valores de THQ obtenidos para la población infantil fueron inferiores a 1. Sin embargo, se identificaron muestras individuales en las que el THQ fue > 1 ; estas correspondieron a concentraciones de HgT superiores a 2 mg/kg de peso húmedo. Este resultado sugiere que, aun considerando un escenario de consumo ocasional

de pescado (52 días/año), la ingesta de ejemplares con altos niveles de Hg podría representar un riesgo no carcinogénico en población infantil. Estudios previos también han reportado un THQ > 1 en niños bajo escenarios similares de exposición (Okati, Shahriari Moghadam, & Einollahipeer, 2021) (Rakib, y otros, 2021). Este hallazgo es relevante desde el punto de vista de la salud pública, dado que los niños, junto con el feto y el recién nacido son un grupo susceptible a la exposición al Hg debido a la sensibilidad del sistema nervioso en desarrollo (WHO, UNEP, 2008).

Por otro lado, los valores de THQ para la población adulta general del Ecuador se mantuvieron inferiores a 1, lo cual es consistente con la menor tasa de consumo anual de pescado reportada a nivel nacional (Ormaza González, y otros, 2022). En contraste, el THQ resultó superior a 1 para ambas especies en adultos que residen en zonas pesqueras, donde la ingesta anual de pescado es significativamente mayor que el promedio nacional (Ormaza González, Campos Parra, Toro Yeroivi, & Mendoza Camino, 2022). Resultados similares han sido descritos en estudios realizados en Malasia, así como en América Latina y el Caribe, donde se evidencia que, en poblaciones con mayores ingestas de pescado contaminado con Hg, los valores de THQ pueden alcanzar o superar la unidad (Ahmad, y otros, 2022) (Vergara, Pancetti, Zúñiga, Fabres, & Bahamonde, 2024). Estos resultados evidencian que las comunidades pesqueras presentan una mayor exposición al Hg, atribuida a un mayor consumo de pescado, lo cual incrementa su riesgo no carcinogénico para la salud.

En conjunto, los resultados indican que el riesgo no carcinogénico por Hg depende tanto de la concentración del contaminante en el pescado como de la frecuencia de consumo de las distintas poblaciones evaluadas.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente estudio demostraron que un número considerable de todas las muestras analizadas presentaron concentraciones de HgT que superaron los límites máximos permisibles establecidos por el Codex Alimentarius y la NTE-INEN 183-2013. Esto evidencia que una fracción considerable de estas especies de pescado comercializadas en el mercado de Playita Mía implica riesgos potenciales para la salud de quienes lo consumen debido a que su inocuidad se ve comprometida por la presencia elevada del contaminante. De esta manera, la exposición prolongada al Hg resulta especialmente preocupante en poblaciones que incluye al pescado como una fuente frecuente de proteína en su dieta.

La evaluación del riesgo no carcinogénico mediante el THQ reveló resultados variables según los patrones de consumo y las concentraciones detectadas. Bajo ingesta moderadas y concentraciones bajas de Hg, los valores de THQ permanecieron inferiores a 1, indicando un riesgo mínimo para la población adulta general del Ecuador, dado que la exposición al Hg no conduce al desarrollo de efectos no carcinogénicos. Sin embargo, los valores de THQ se incrementaron sustancialmente cuando se presentaron altas concentraciones del metal en el tejido muscular de los peces y patrones de consumo frecuente, como ocurre en comunidades pesqueras, lo que conlleva a una mayor susceptibilidad toxicológica.

Por otra parte, el peso corporal es un parámetro importante a considerar en la magnitud del riesgo, dado que la población infantil presentó valores de THQ superiores a 1 en comparación con la población adulta, incluso bajo la misma frecuencia de exposición. Esto sugiere que los niños representan particularmente un grupo vulnerable, debido a que un menor peso corporal implica una mayor dosis de exposición por unidad de peso, sin olvidar mencionar que los niños tienen una mayor susceptibilidad a los efectos neurotóxicos del Hg durante el desarrollo del sistema nervioso.

En conclusión, los resultados del estudio indican que el consumo de *T. albacares* y *T. obesus* comercializados en el mercado de Playita Mía si conlleva a un riesgo no carcinogénico, pero que puede variar en función de las concentraciones de Hg, la frecuencia de exposición y el peso corporal de los consumidores, siendo las personas que consumen estas especies de forma muy frecuente los más expuestos, y, por ende, el grupo con mayor potencial de riesgo a la salud.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ahmad, N. I., Wan Mahiyuddin, W. R., Azmi, W. N., Ruzman Azlee, R., Shaharudin, R., & Sulaiman, L. (2022). Exposure Assessment of methyl mercury from consumption of fish and seafood in Peninsular Malaysia. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 24816–24832. doi:10.1007/s11356-021-17483-6
- Amin, A., Saadatakhtar, M., Mohajerian, A., Mehdi Marashi, S., Zamanifard, S., Keshavarzian, A., . . . Nikdoust, F. (2025). Mercury-Mediated Cardiovascular Toxicity: Mechanisms and Remedies. *Cardiovascular Toxicology*, 25, 507–522. doi:10.1007/s12012-025-09966-6
- Araújo, C., & Cedeño-Macias, L. (2016). Heavy metals in yellowfintuna (*Thunnus albacares*) and common dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) landed on the Ecuadorian coast. *Science of the Total Environment*, 541, 149 - 154. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.09.090
- ATSDR / CDC. (2021). *Resúmenes de Salud Pública – Mercurio (Azogue) (Mercury)*. Obtenido de U.S. Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry.: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs46.html
- Azadeh, A., Takdastan, A., Haghighi Fard, N., Babaei, A., & Alivand, S. (2022). Determination of heavy metals including Hg, Pb, Cd, and Cr. *Environmental Health Engineering and Management Journal*, 9(2), 157-164. doi:10.34172/EHEM.2022.17
- Barocas, A., Vega, C., Alarcon Pardo, A., Araujo Flores, J., Fernandez, L., Groenendijk, J., . . . Swaisgood, R. (15 de agosto de 2023). Local intensity of artisanal gold mining drives mercury accumulation in neotropical oxbow lake fishes. *Science of The Total Environment*, 886. doi:10.1016/j.scitotenv.2023.164024
- Basta, P., Santiago de Vasconcellos, A., Hallwass, G., Yokota, D., d'El Rei Pinto, D., de Aguiar, D., . . . Oliveira da Costa, M. (2023). Risk Assessment of Mercury-Contaminated Fish Consumption in the Brazilian Amazon: An Ecological Study. *Toxics*, 11(9), 800. doi:10.3390/toxics11090800
- Bjørklund, G., Peana, M., Dadar, M., Chirumbolo, S., Aaseth, J., & Martins, N. (2020). Mercury-induced autoimmunity: Drifting from micro to macro concerns on autoimmune disorders. *Clinical Immunology*. doi:10.1016/j.clim.2020.108352
- Branco, V., Aschner, M., & Carvalho, C. (2021). Neurotoxicity of mercury: an old issue with contemporary significance. *Advances in neurotoxicology*, 5, 239–262. doi:10.1016/bs.ant.2021.01.001
- Brodziak-Dopierała, B., & Fischer, A. (2023). Analysis of the Mercury Content in Fish for Human Consumption in Poland. *Toxics*, 11(8), 717. doi:10.3390/toxics11080717
- Carvalho, M., Loureiro, S., Fardilha, M., & Herdeiro, M. (2019). Exposure to mercury and human reproductive health: A systematic review. *Reproductive toxicology*, 85, 93-103. doi:10.1016/j.reprotox.2019.02.012
- Charkiewicz, A., Omeljaniuk, W., Garley, M., & Nikliński, J. (2025). Mercury Exposure and Health Effects: What Do We Really Know? *International Journal of Molecular Sciences*, 26(5). doi:10.3390/ijms26052326

- Charvát, P., Klimes, L., Pospíšil, J., Klemeš, J., & Varbanov, P. (2020). An overview of mercury emissions in the energy industry - A step to mercury footprint assessment. *Journal of Cleaner Production*, 267. doi:10.1016/j.jclepro.2020.122087
- Chen, B., & Dong, S. (2022). Mercury Contamination in Fish and Its Effects on the Health of Pregnant Women and Their Fetuses, and Guidance for Fish Consumption—A Narrative Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(23). doi:10.3390/ijerph192315929
- Das, P., Dutta, A., Panchali, T., Khatun, A., Kar, R., Das, T., . . . Pradhan, S. (2024). Advances in therapeutic applications of fish oil: A review. *Measurement: Food*, 13. doi:10.1016/j.meafao.2024.100142
- Day, N., Schmidt, T., Roberts, J., Osmundson, B., Willacker, J., & Eagles-Smith, C. (2020). Mercury and selenium concentrations in fishes of the Upper Colorado River Basin, southwestern United States: A retrospective assessment. *PLoS One*, 15(1). doi:10.1371/journal.pone.0226824
- de Souza Hacon, S., Oliveira-da-Costa, M., de Souza Gama, C., Ferreira, R., Basta, P., Schramm, A., & Yokota, D. (2020). Mercury Exposure through Fish Consumption in Traditional Communities in the Brazilian Northern Amazon. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(15). doi:10.3390/ijerph17155269
- Demelash Abera, B., & Alefe Adimas, M. (2024). Health benefits and health risks of contaminated fish consumption: Current research outputs, research approaches, and perspectives. *Heliyon*, 10(13). doi:10.1016/j.heliyon.2024.e33905
- Dragan, F., Lestyan, M., Lupu, V. V., Marcu, F. M., Cozma, A., Fodor, K., . . . Ciubara, A. B. (2023). The Threat of Mercury Poisoning by Fish Consumption. *Applied Sciences*, 13(1), 369. doi:10.3390/app13010369
- EPA. (2013). *Resources for Mercury Science and Research*. Recuperado el Octubre de 2025, de U.S. Environmental Protection Agency (.gov): <https://www.epa.gov/mercury/resources-mercury-science-and-research>
- FAO, WHO. (2005). *DISCUSSION PAPER ON THE GUIDELINE LEVELS FOR METHYLMERCURY IN FISH*. CODEX ALIMENTARIUS COMMITTEE, Netherlands.
- FAO, WHO. (2018). *REPORT OF THE 12th SESSION OF THE CODEX COMMITTEE ON CONTAMINANTS IN FOODS*. JOINT FAO/WHO FOOD STANDARDS PROGRAMME, Rome. Obtenido de https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-735-12%252FREPORT%252520%2528FINAL%2529%252FREP18_CFe.pdf
- FDA, EPA. (2024). *Technical Information on Development of FDA/EPA Advice about Eating Fish for Those Who Might Become or Are Pregnant or Breastfeeding and Children Ages 1-11 Years*. Obtenido de Food and Drug Administration: <https://www.fda.gov/food/environmental-contaminants-food/technical-information-development-fdaepa-advice-about-eating-fish-those-who-might-become-or-are>
- Franco Fuentes, E., Moity, N., Ramírez González, J., Andrade Vera, S., Hardisson, A., Paz, S., . . . Gutiérrez, Á. (2023). Mercury in fish tissues from the Galapagos marine reserve: Toxic risk and

- health implications. *Journal of Food Composition and Analysis*, 115. doi:10.1016/j.jfca.2022.104969
- Gao , Z., Wu, N., Du, X., Li, H., Mei, X., & Song , Y. (2022). Toxic Nephropathy Secondary to Chronic Mercury Poisoning: Clinical Characteristics and Outcomes. *Kidney International Reports*, 7(6), 1189-1197. doi:10.1016/j.ekir.2022.03.009
- Garofalo , L., Sala, M., Focardi , C., Pasqualetti, P., Delfino, D., D'Onofrio, F., . . . Neri, B. (2025). Monitoring of Cadmium, Lead, and Mercury Levels in Seafood Products: A Ten-Year Analysis. *Foods*, 14(3), 451. doi:10.3390/foods14030451
- Gębka, K., Saniewska, D., & Beldowska , M. (2020). Mobility of mercury in soil and its transport into the sea. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 8492–8506. doi:10.1007/s11356-019-06790-8
- Grace Pavithra, K., SundarRajan, P., Senthil Kumar, P., & Rangasamy, G. (2023). Mercury sources, contaminations, mercury cycle, detection and treatment techniques: A review. *Chemosphere*, 3121. doi:10.1016/j.chemosphere.2022.137314
- Houssard, P., Point, D., Tremblay-Boyer, L., Allain, V., Pethybridge, H., Masbou, J., . . . Lorrain, A. (2019). A Model of Mercury Distribution in Tuna from the Western and Central Pacific Ocean: Influence of Physiology, Ecology and Environmental Factors. *Environmental Science & Technology*, 53(3), 1422-1431. doi:10.1021/acs.est.8b06058
- IARC. (1993). *Beryllium, Cadmium, Mercury, and Exposures in the Glass Manufacturing Industry* (Vol. 58). World Health Organization.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). *NTE INEN 183:2013 PESCADO FRESCO REFRIGERADO O CONGELADO: REQUISITOS*. Quito.
- Jan, A., Wallace, D., Vejrup, K., & Jan, A. (2020). Methylmercury and developmental neurotoxicity: A global concern. *Current Opinion in Toxicology*, 19, 80-87. doi:10.1016/j.cotox.2020.01.005
- Jeong, H., Ali, W., Zinck, P., Souissi, S., & Lee, J.-S. (2024). Toxicity of methylmercury in aquatic organisms and interaction with environmental factors and coexisting pollutants: A review. *Science of The Total Environment*, 943. doi:10.1016/j.scitotenv.2024.173574
- Krüger, D., Weng, A., & Baecker, D. (2024). Development and Application of an Atomic Absorption Spectrometry-Based Method to Quantify Magnesium in Leaves of Dioscorea polystachya. *Molecules*, 29(1), 109. doi:10.3390/molecules29010109
- Lacerda, L. D., Goyanna, F., Bezerra, M. F., & Silva, G. (2017). Mercury Concentrations in Tuna (Thunnus albacares and Thunnus obesus) from the Brazilian Equatorial Atlantic Ocean. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 98(2), 149 - 155. doi:https://doi.org/10.1007/s00128-016-2007-0
- Liu, B.-Y., Chen, I.-W., Chen, P.-w., Chen, T., & Hwang, D.-F. (2023). Risk assessment of methylmercury and species identification in shark meats ingested by Taiwan children. *Food Control*, 145. doi:10.1016/j.foodcont.2022.109461
- Łuczyńska, J., Łuczyński, M., Nowosad, J., Kowalska-Górska, M., & Senze, M. (2022). Total Mercury and Fatty Acids in Selected Fish Species on the Polish Market: A Risk to Human Health. *Environmental Research and Public Health*, 19(16). doi:10.3390/ijerph191610092

- Okati, N., Shahriari Moghadam, M., & Einollahipeer, F. (2021). An evaluation of target hazard quotation of mercury and arsenic in four commercially fish species of the Oman Sea, Iran. *Journal of Wildlife and Biodiversity*, 5(3), 1-20.
- Oktarian, A., Sudaryatma, P. E., Ramona, Y., Gelgel Wirasuta, I., Gede Darmayas, I. B., Wiradana, P. A., & Okabayashi, T. (26 de 04 de 2023). *Veterinary World*. Obtenido de Veterinary World: <https://www.veterinaryworld.org/Vol.16/April-2023/25.html>
- Ormaza González , F. I., Campos Parra, D. A., Toro Yerovi, E. B., & Mendoza Camino, K. D. (07 de Septiembre de 2022). *Consumo efectivo de pescado y afines en Guayaquil y Esmeraldas el 2022*. Obtenido de Cámara Nacional de Pesquería: <https://camaradepesqueria.ec/consumo-efectivo-de-pescado-y-afines-en-guayaquil-y-esmeraldas-el-2022/>
- Ormaza González, F. I., Chicaiza Mantillas, S. L., Delgado Romero, A. P., Intriago Basurto, A., Pizarro Mera, M. E., & Solórzano Ruiz, Y. F. (25 de Marzo de 2022). *¿Cuánto pescado consumimos en el Ecuador el 2021?* Obtenido de Cámara Nacional de Pesquería: <https://camaradepesqueria.ec/cuanto-pescado-consumimos-en-el-ecuador-el-2021/>
- Panduro, G., Rengifo, G. C., Barreto, J. L., Arbaiza, Á., Iannacone, J., Alvariño, L., & Crnobrna, B. (2020). Recuperado el 27 de noviembre de 2024, de Scielo: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172020000300012
- Pawlaczyk , A., Przerywacz , A., Gajek , M., & Szykowska-Jozwik, M. (2020). Risk of Mercury Ingestion from Canned Fish in Poland. *Molecules*, 25(24). doi:10.3390/molecules25245884
- Rakib, R., Jolly, Y., Ebere Enyoh, C., Uddin Khandaker , M., Belal Hossain, M., Akther, S., . . . Bradley , D. (2021). Levels and health risk assessment of heavy metals in dried fish consumed in Bangladesh. *Scientific Reports*, 11(14642). doi:10.1038/s41598-021-93989-w
- Renu, K., Chakraborty, R., Myakala, H., Koti, R., Famurewa , A., Madhyastha , H., . . . Gopalakrishnan, A. (2021). Molecular mechanism of heavy metals (Lead, Chromium, Arsenic, Mercury, Nickel and Cadmium) - induced hepatotoxicity – A review. *Chemosphere*, 271. doi:10.1016/j.chemosphere.2021.129735
- Romero Romero, S., García Ordiales, E., Roqueñí, N., & Acuña, J. (2022). Increase in mercury and methylmercury levels with depth in a fish assemblage. *Chemosphere*, 292. doi:10.1016/j.chemosphere.2021.133445
- Saidon, N., Szabó , R., Budai, P., & Lehel, J. (2024). Trophic transfer and biomagnification potential of environmental contaminants (heavy metals) in aquatic ecosystems. *Environmental Pollution*, 340(1). doi:10.1016/j.envpol.2023.122815
- Sánchez Alarcón, J., Milić , M., Bustamante Montes , L., Isaac Olivé, K., Valencia Quintana , R., & Ramírez Durán , N. (2021). Genotoxicity of Mercury and Its Derivatives Demonstrated In Vitro and In Vivo in Human Populations Studies. Systematic Review. *Toxics*, 9(12), 326. doi:10.3390/toxics9120326
- Shuang , H., Yuting , N., Xing, L., Liang, Z., Song, X., Ding, M., & Huang, W. (2024). Research progress of the detection and analysis methods of heavy metals in plants. *Frontiers in Plant Science*, 15. doi:10.3389/fpls.2024.1310328

- Storelli, A., Barone, G., Garofalo, R., Busco, A., & Storelli, M. (2022). Determination of Mercury, Methylmercury and Selenium Concentrations in Elasmobranch Meat: Fish Consumption Safety. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(2), 788. doi:10.3390/ijerph19020788
- US Environmental Protection Agency. (2000). *Guidance for assessing chemical contaminant data for use in fish advisory vol. II: risk assessment and fish consumption limits*. Washington (D.C.): US Environmental Protection Agency. Obtenido de <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/volume2.pdf>
- Vergara, E., Pancetti, F., Zúñiga, L., Fabres, K., & Bahamonde, P. (2024). Risk map of human intake of mercury through fish consumption in Latin America and the Caribbean. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8. doi:10.3389/fsufs.2024.1470683
- WHO. (2021). *EXPOSURE TO MERCURY: A MAJOR PUBLIC HEALTH CONCERN*.
- WHO. (Octubre de 2024). *Mercury*. Obtenido de World Health Organization (WHO): <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health>
- WHO. (s.f.). *Weight-for-age*. Recuperado el 12 de Octubre de 2025, de World Health Organization (WHO): <https://www.who.int/tools/child-growth-standards/standards/weight-for-age>
- WHO, UNEP. (2008). *GUIDANCE FOR IDENTIFYING POPULATIONS AT RISK FROM MERCURY EXPOSURE*. Geneva. Obtenido de <https://www.who.int/publications/m/item/guidance-for-identifying-populations-at-risk-from-mercury-exposure>
- Wu, Y.-S., Osman, A., Hosny, M., Elgarahy, A., Eltaweil, A., Rooney, D., . . . Yap, P.-S. (2024). The Toxicity of Mercury and Its Chemical Compounds: Molecular Mechanisms and Environmental and Human Health Implications: A Comprehensive Review. *ACS Omega*, 9(5), 5100–5126. doi:10.1021/acsomega.3c07047
- Yáñez-Jácome, G., Romero-Estévez, D., Vélez-Terreros, P., & Navarrete, H. (2023). Total mercury and fatty acids content in selected fish marketed in Quito – Ecuador. A benefit-risk assessment. *Toxicology Reports*, 10, 647 - 658. doi:10.1016/j.toxrep.2023.05.009
- Yang, L., Zhang, Y., Wang, F., Luo, Z., Guo, S., & Strähle, U. (2020). Recuperado el 27 de noviembre de 2024, de ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653519328267>
- Ye, B.-J., Kim, B.-G., Jeon, M.-J., Kim, S.-Y., Kim, H.-C., Jang, T.-W., . . . Hong, Y.-S. (2016). Evaluation of mercury exposure level, clinical diagnosis and treatment for mercury intoxication. *Ann Occup Environ Med*, 28(5). doi:10.1186/s40557-015-0086-8
- Zaloga, G. P. (2021). Narrative Review of n-3 Polyunsaturated Fatty Acid Supplementation upon Immune Functions, Resolution Molecules and Lipid Peroxidation. *Nutrients*, 13(2), 662. doi:10.3390/nu13020662