

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**Determinación De Mercurio En Muestras De Atún En Lata Por Espectroscopia de
Fluorescencia Atómica**

Disertación previa a la obtención del título en Química

Bárbara Pamela Alcoser Pinto

Directora: Lenys Mercedes Fernández Martínez

Quito, 2022

CERTIFICACIÓN

DEDICATORIA

A mis padres, por su amor, paciencia, esfuerzo y apoyo incondicional. Gracias a ustedes he logrado cumplir mi sueño. A mis hermanos, por estar presentes en todo este proceso y brindarme su apoyo y amor.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por ser mi pilar fundamental.

A Austin, por ser mi apoyo incondicional.

A todos mis amigos, por su apoyo, consejos y paciencia.

A Gabriela Yáñez, por su esfuerzo, paciencia y dedicación para guiarme a lo largo de mi trabajo experimental.

A mi directora de tesis, Dra. Lenys Fernández, por su esfuerzo, consejos y correcciones para poder culminar con este trabajo.

A los profesores del Jurado, Mtr. Pablo Pozo y Lic. Augusto Oviedo.

A la Universidad Católica del Ecuador, a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, por brindarme oportunidades y enriquecerme de conocimiento.

TABLA DE CONTENIDOS

1. RESUMEN	1
2. ABSTRACT	2
3. INTRODUCCIÓN	3
4. MATERIALES Y MÉTODOS	7
4.1 SECADO DE LA MUESTRA.....	7
4.2 DIGESTIÓN ACIDA DE LA MUESTRA.....	8
4.3 CUANTIFICACIÓN DE MERCURIO TOTAL	8
4.4 CONTROL DE CALIDAD	9
4 RESULTADOS	10
5. DISCUSIÓN.....	21
6 CONCLUSIONES	23
7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
8 ANEXOS.....	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Curva de Calibración obtenida mediante el equipo Mercur Plus	11
Figura 2 Datos finales obtenidos de la concentración (media) de HgT en peso húmedo de los atunes enlatados de marca A.	15
Figura 3 Figura 3 Concentración (media) de HgT en peso húmedo de los atunes enlatados de marca B	1
Figura 4 Datos finales obtenidos de la concentración (media) de HgT en peso húmedo de los atunes enlatados de marca C	20

LISTA DE TABLAS Y LISTA DE ANEXOS

Tabla 1 Características técnicas del método de digestión para microondas utilizado para la digestión de las muestras	8
Tabla 2 Datos para la curva de calibración mediante el espectrofotómetro Mercur Plus.	11
Tabla 3 % R obtenidos de las fortificaciones realizadas a partir de una solución de estándar de Hg ²⁺ de concentración 50 µg/L	12
Tabla 4 Concentraciones de HgT obtenidos de muestras de atún enlatado de marca A	14
Tabla 5 Concentraciones de HgT obtenidos de muestras de atún enlatado de marca B	16
Tabla 6 Concentraciones de HgT obtenidos de muestras de atún enlatado de marca C	18
Tabla 7 Lote y pesos de muestra de la marca A	29
Tabla 8 Lote y pesos de muestra de la marca B	29
Tabla 9 Lote y pesos de muestra de la marca C	30
Tabla 10 Peso muestra y blanco para el %R	31
Tabla 11 Datos obtenidos de la primera muestra de atún enlatado de la marca C	31
Tabla 12 Datos obtenidos para calcular el % R	33

1. Resumen

En el presente trabajo de investigación se cuantificó mercurio total en atún de lata conservado en agua mediante espectroscopia de fluorescencia atómica. Se encontró que, todas las muestras de atún de lata conservado en agua analizadas presentan mercurio en su contenido. Los contenidos analizados cumplen parcialmente con los límites permisibles establecido por las normas; para las normas INEN 184:2013, FDA no se sobrepasan los límites establecidos, sin embargo, entre las marcas existen lotes que sobrepasaron los límites establecidos por la EU, OMS y el Codex alimentarius. La marca etiquetada como A, que abarca un 58% en el mercado ecuatoriano, el número de lote que sobrepasa los límites es el número RL 98W-B016W-5, se encontró $0,6844 \pm 0,77$ mg/kg y $0,6886 \pm 1,76$ mg/kg. Para la marca etiquetada como B, que abarca un 28% en el mercado ecuatoriano, el número de lote 2331-7203, se encontró $0,03630 \pm 0,0066$ mg/kg. Por último, la marca etiquetada como C, que abarca un 9% en el mercado, el número de lote 21-435-4YL se encontró $0,0572 \pm 1,48$ mg/kg.

Palabras clave: espectrofotometría de fluorescencia atómica, vapor frío, digestión ácida, mercurio total en carne de atún.

2. Abstract

In the present research work, total mercury was quantified in canned tuna preserved in water by means of atomic fluorescence spectroscopy. It was found that all samples of canned tuna canned in water analyzed have mercury in their content. The analyzed contents partially comply with the permissible limits established by the regulations; for the INEN 184:2013, FDA standards, the established limits are not exceeded, however, among the brands there are batches that exceeded the limits established by the EU, WHO and the Codex alimentarius. The brand labeled as A, which covers 58% of the Ecuadorian market, the batch number that exceeds the limits is number RL 98W-B016W-5, 0.6844 ± 0.77 mg/kg and 0.6886 ± 1.76 mg/kg. For the brand labeled as B, which covers 28% of the Ecuadorian market, lot number 2331-7203, 0.03630 ± 0.0066 mg/kg was found. Finally, the brand labeled as C, which covers 9% of the market, the lot number 21-435-4YL was found to be 0.0572 ± 1.48 mg/kg.

Keywords: atomic fluorescence spectrophotometry, cold vapor, acid digestion, total mercury in tuna meat.

3. Introducción

El atún es una fuente importante de proteínas para la población mundial (Zuleta & Becerra, 2013). Se considera a Ecuador como uno de los mayores productores y exportadores de atún de América Latina (Industria de Pescadería del Ecuador, 2018). Conforme al Instituto Nacional de Pesca las especies principales de atún que se ubican en Ecuador son el atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*), atún patudo (*Thunnus obesus*) y atún barrilete (*Katsuwonus Pelamis*). La mayor parte del atún ecuatoriano se procesa en conserva (IATTC, 2018). En este país, se exporta como lomos pre-cocinados y atún en lata; en presentaciones contenidos en diferentes líquidos como aceite (girasol, oliva y vegetal) y agua (Camara Nacional de Pescadería CNP, 2018).

Es de importancia cuantificar el nivel de mercurio (Hg) en carnes de atún enlatados, ya que siendo una fuente de proteínas importante, y Ecuador uno de los mayores productores y exportadores, la concentración de este metal en el alimento no debe exceder los niveles permitidos por las legislaciones, evitando así los riesgos para la salud humana que puede acarrear esta especie tóxica.

Ecuador se encuentra en la lista roja de países emisores de Hg, dispersando unas cincuenta (50) toneladas del metal al medio ambiente (Ministerio del Medio Ambiente de Japón, 2013); niveles que han aumentado por diferentes causas provenientes de fuentes naturales, bioacumulación y fuentes antropogénicas; especialmente en esta última por actividades de minería artesanal (Gaiolio, Amoedo, & Gonzalez, 2012).

El Hg puede presentarse en diversas formas como mercurio elemental, mercurio inorgánico y mercurio orgánico, los cuales pueden ser muy tóxicos para los seres vivos. El nivel de toxicidad

puede variar dependiendo de en qué forma se encuentra el mercurio y la vía de exposición (Raimann & Rodriguez, 2014).

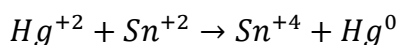
La contaminación por Hg afecta a diversos medios y alimentos, especialmente en el pescado, debido que los peces son capaces de bioacumularlo en el organismo en forma de metil-mercurio (Escobar, 2010). Particularmente, se debe tomar en cuenta que, mientras más grande y viejo sea el pez tendrá una mayor acumulación de metil-mercurio en sus tejidos (The Vermont Department of Environmental Conservation, 2018).

En el Ecuador, en los últimos siete años se han reportado estudios sobre el contenido de Hg en atunes enlatados (Lalangui, Lema, & Garcia, 2017); sin embargo, la técnica utilizada para esta cuantificación consideramos es poco adecuada para ello. Particularmente, se ha reportado la determinación de mercurio en enlatados de atún comercial de la ciudad de Manta, Provincia de Manabí-Ecuador (Moreira, Baque, Delgado, & Muentes, 2016), donde se utilizó la técnica de espectroscopia de absorción atómica acoplada a la generación de vapor frío, sin embargo, el estudio reportado es poco formal, donde solo se analizan latas de atún de diferentes marcas, sin repetición ni réplicas estadísticas que den sustento al estudio.

En el presente trabajo de investigación, se reporta la cuantificación de mercurio total (HgT) mediante espectroscopia de fluorescencia atómica en muestras de atún enlatado en agua, provenientes de las marcas con mayor comercialización en Ecuador.

La espectrofotometría de fluorescencia atómica (AFS), es una técnica extremadamente sensible y adecuada para la cuantificación de Hg en diferentes muestras. La muestra se convierte en átomos gaseosos, y el elemento de interés se excita a un nivel de energía electrónica superior gracias a una fuente de luz. Después de la excitación, los átomos se desactivan mediante la emisión

de fotones (Worfold, Townshend, & Poole, 2005). En esta investigación la técnica de AFS se acopló a un generador de vapor frío de Hg, donde la muestra se hizo reaccionar en solución ácida con cloruro de estaño (SnCl_2), como agente reductor, a fin de que el metal en forma iónica (Hg^{2+}) se reduzca a su forma elemental (Hg^0) (Lima, 2010), de acuerdo a las siguiente reacción:



Se e han reportado varias técnicas para el análisis de Hg en pescado, entre ellas: espectrometría de absorción atómica- horno de grafito (Lalangui K. , Lema, García, Mariscal, & Mariscal, 2017), análisis por activación neutrónica- Instrumental (Bravo, 1979), cromatografía gaseosa- detector de captura electrónica (Cortes, 2017), detector de emisión atómica (Cortes, 2017), espectrometría de masas (ICP-MS) (Chaves, 2015), cromatografía líquida de alta eficiencia (Cortes, 2017), espectrometría de absorción atómica con vapor frío (Chaves, 2015), espectrometría de fluorescencia atómica (Chaves, 2015), voltamperometría de pulso diferencial con redisolución anódica (Burgos, 2015), plasma acoplado inductivamente- espectrometría de masas (Cortes, 2017), espectrometría de emisión atómica (Cortes, 2017), vapor frío acoplado a espectrofotometría de fluorescencia atómica (Bustamante, 2020). En el presente trabajo se eligió la AFS acoplada a generación de vapor frío de Hg para la determinación de HgT por las siguientes razones: excelente sensibilidad de la técnica, bajos límites de detección, selectividad, costo de inversión menor en comparación al ICP-MS y la rapidez y operatividad con la que se puede analizar una cantidad de muestras (Nardi, y otros, 2009).

Objetivos

Objetivo General

Determinar el contenido de mercurio total en atún enlatado, seleccionado de los supermercados de la parroquia de Sangolquí (Quito-Ecuador), por la técnica espectroscopia de fluorescencia atómica acoplada a la generación de vapor frío, para evaluar si cumplen con los límites permisibles indicados en las distintas normas establecidas para ello.

Objetivos específicos

- Validar un método por espectroscopia de fluorescencia atómica para la determinación de Hg total en carnes de atún enlatado.
- Diseñar un plan de muestreo para el atún enlatado de mayor demanda en la Parroquia de Sangolquí, Quito-Ecuador.
- Determinar la concentración de Hg en atún enlatado en muestras de diferentes marcas y conservas seleccionados de los supermercados de la parroquia de Sangolquí (Quito-Ecuador).

Comparar los resultados obtenidos con la norma establecida según el Codex *alimentarius*, FDA 2001, norma NTE INEN 184:2013 para el máximo de Hg permisible en este tipo de alimento

4. Materiales y métodos

4.1 Equipos y Reactivos

Cloruro de estaño (II) dihidratado (Sigma Aldrich, Steinheim, Alemania, Certified ACS, CAS# 10025-69-1, PubChem CID: 24479), ácido clorhídrico (Fisher Chemical, Otawwa, Canadá, certificado ACS, CAS# 7647-01-0, PubChem CID: 313), argón al 99,999% (Linde, Quito, Ecuador, CAS# 7440-37-1, PubChem CID: 23968), estándar de mercurio ($9,995 \pm 0,056 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^3$) (Inorganic Ventures, Virginia, Estados Unidos), ácido nítrico (Fisher Chemical, Otawwa, Canadá, certificado ACS, CAS# CAS 7697-37-2, PubChem CID: 944), peróxido de hidrógeno, ácido perclórico

Los equipos utilizados para la cuantificación de HgT fue un espectrofotómetro Mercur Plus, de marca Analytik Jena, Alemania, Microondas CEM MARS 6 y un liofilizador de marca Labogene, Bjarkesvej 5, Denmark.

4.2 Método

Secado de la muestra

Las marcas de atún utilizadas para el análisis por motivos de confidencialidad fueron etiquetadas como A, B y C, de acuerdo al porcentaje de mercado abarcado por cada marca: A 58%, B 28% y C 9%.

Se drenó el agua contenida en la lata de atún. Se pesó, en cajas Petri, muestras de atún entre 5,000 a 20,000 g. La muestra se colocó en una ultracongeladora por una hora. Una vez culminado

el tiempo, se colocaron las cajas Petri con el contenido de atún en el liofilizador por un tiempo de 48 horas. Al pasar este tiempo se retiraron las muestras del liofilizador y se calculó el porcentaje de humedad, tomando en cuenta los pesos de las cajas Petri con y sin contenido de muestra.

Digestión acida de la muestra

Para digerir la muestra se utilizó una digestión por microondas según el procedimiento reportado por (Yanez, Romero, Navarrete, & Velez, 2020), de acuerdo al método de digestión ácida según la información reportada en la Tabla 1. En diferentes viales de alta presión, se pesó 0,1000 g de la muestra, secada previamente, excepto para s se pesó 0,3000 g; y se añadió 1 mL de cada uno de los siguientes reactivos: HNO₃, H₂O₂ y HClO₄; se dejó reposar por 10 minutos antes de proceder con el cierre de los viales. Se ajustaron los viales en sus chaquetas respectivas y se ubicaron en el carrusel del equipo microondas. Al paso de una hora se retiraron las muestras del microondas y se dejaron enfriar. Posteriormente, las muestras se filtraron en un balón aforado de 50 mL y se añadió 1 mL de HCl antes de su aforo.

Tabla 1 Características técnicas del método de digestión para microondas utilizado para la digestión de las muestras

Reactivos para digestión	Temperatura	Tiempo de rampa (min)	Tiempo de espera (min)	Potencia (W)	Presión (psi)
1 mL HNO ₃ 1 mL H ₂ O ₂ 1 mL HClO ₄	210	20	15	1400	800

4.3 Cuantificación de HgT

La cuantificación de HgT se realizó empleando un espectrofotómetro Mercur Plus detección por fluorescencia atómica, acoplado a la generación de vapor frío de Hg. El equipo utiliza una solución de HCl, (2 %), como solución ácida de reacción, solución de dilución y enjuague; y una solución de cloruro de estaño (II) dihidratado con HCl al 4 % como agente reductor. Como blanco se utilizó una solución de HCl al 2 %, y como gas de arrastre gas argón (Ar).

Para la preparar las soluciones de concentraciones 1, 2, 3, 4 y 5 $\mu\text{g/L}$ en Hg^{+2} para la curva de calibración, se utilizó una solución de estándar de Hg^{+2} de 50 $\mu\text{g/L}$. El proceso de inyección de las soluciones de la curva de calibración, blancos, muestras y controles de calidad fue automático, ya que el equipo permite dicha operatividad. Los resultados reportados se presentan en mg/Kg, en peso húmedo, considerando el porcentaje de humedad.

4.4 Control de calidad

Para el control de calidad se empleó fortificaciones de Hg^{+2} (50 $\mu\text{g/L}$) en las muestras, en concentraciones de 1 y 4 $\mu\text{g/L}$ para cada lote de digestión. El porcentaje de recuperación esperado para cada fortificación fue del $100\% \pm 10$.

Adicionalmente, como control de calidad se inyectaron estándar de 1 y 4 $\mu\text{g/L}$ conteniendo muestras de cada lote, con un porcentaje de recuperación esperado del $100\% \pm 10$.

4 Resultados

Curva de calibración

Para determinar la concentración de HgT en cada muestra, se construyó una curva de calibración diaria de 0,5 a 5 $\mu\text{g/L}$, Figura 1 y Tabla 3, preparadas directamente por dilución con el inyector automático del equipo. En total se obtuvo 7 curvas de calibración.

Tabla 2 Datos para la curva de calibración mediante el espectrofotómetro Mercur Plus.

Concentración (µg/kg)	Intensidad 1	Intensidad 2	Intensidad 3	Intensidad 4	Intensidad 5	Intensidad 6	Intensidad 7	Media intensidades	Desviación estándar	CV (%)
0	0,006115	0,001254	0,01490	0,01289	0,01275	0,008490	0,005825	0,008889	0,004513	50,77
0,5	0,5194	0,5243	0,5185	0,5560	0,4741	0,5512	0,5115	0,522143	0,02518	4,82
1	1,024	1,042	1,051	1,056	0,9484	1,076	1,021	1,031200	0,03806	3,69
2	2,049	2,032	2,073	2,031	1,866	2,080	2,050	2,025857	0,06750	3,33
3	3,084	3,072	3,080	3,057	2,858	3,165	2,994	3,044286	0,08911	2,93
4	4,029	4,093	4,051	4,094	3,850	4,417	3,978	4,073143	0,1605	3,94
5	5,090	4,994	5,033	4,997	4,863	5,227	5,046	5,035714	0,1019	2,02

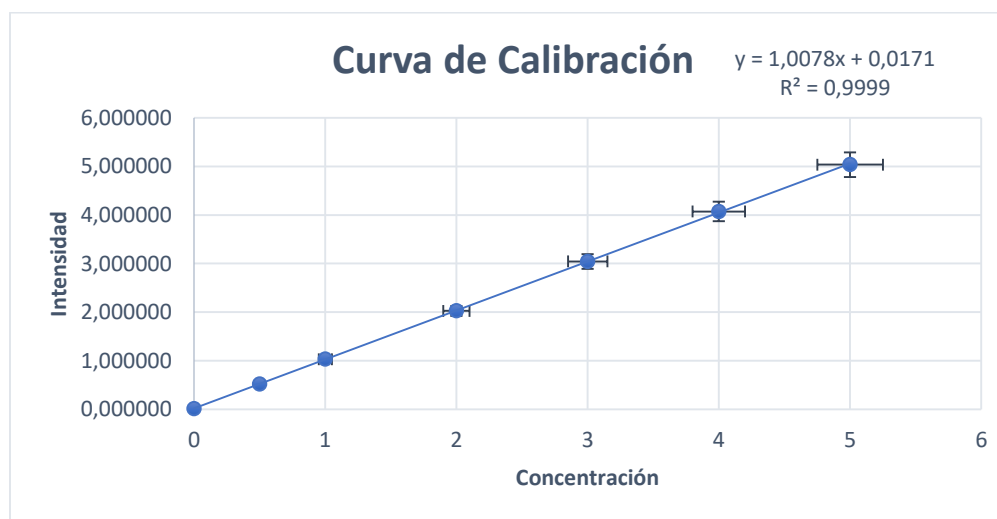


Figura 1 Curva de Calibración obtenida mediante el equipo Mercur Plus

Como se observa la Tabla 2, se reporta el promedio para las 7 lecturas. Para la curva de calibración se tiene un ajuste lineal positivo, con una regresión lineal $R^2 > 0,99$; demostrando rango lineal aceptable.

Control de calidad

En la Tabla 3 se reporta los porcentajes de recuperación (% R) para el control de calidad de las medidas. Se realizó dos niveles de fortificación, el primer nivel se codificó como Fort 1ppb y el segundo nivel como Fort 4ppb. Para cada nivel se realizaron 5 lecturas.

Los valores obtenidos están entre 89,8 y 119,4%, los cuales son aceptables del acuerdo al rango de aceptación determinado por el Codex-Alimentarius (80-120%) (Suarez, Arévalo, & Ustáriz, 2009). Se observa dispersión entre los porcentajes de recuperación con respecto a la media de 9,58 para el nivel Fort 1ppb y el nivel Fort 4 ppb 4,82%. Sin embargo, esta dispersión se encuentra dentro del rango, por lo que el método utilizado presenta la exactitud necesaria.

Tabla 3 % R obtenidos de las fortificaciones realizadas a partir de una solución de estándar de Hg²⁺ de concentración 50 µg/L

Código para cada nivel de fortificación	Concentración de la fortificación (µg/L)	HgT (µg/mg)	%R	Media %R	Desviación estándar	CV (%)
Fort 1ppb	4,916 x10 ⁰²	6,079 x10 ⁰²	101,0	108,1	10,35	9,58
Fort 1ppb	4,776 x10 ⁰²	5,958 x10 ⁰²	101,4			
Fort 1ppb	4,970 x10 ⁰²	6,061 x10 ⁰²	99,5			
Fort 1ppb	4,970 x10 ⁰²	5,972 x10 ⁰²	121,5			
Fort 1ppb	4,789 x10 ⁰²	5,755 x10 ⁰²	117,0			
Fort 4ppb	1,986 x10 ⁰³	1,816 x10 ⁰³	91,5	93,9	4,53	4,82
Fort 4ppb	1,857 x10 ⁰³	1,783 x10 ⁰³	89,8			
Fort 4ppb	1,912 x10 ⁰³	1,769 x10 ⁰³	92,5			
Fort 4ppb	1,880 x10 ⁰³	1,907 x10 ⁰³	101,4			
Fort 4ppb	1,998 x10 ⁰³	1,885 x10 ⁰³	94,4			

Cuantificación de HgT en carne de atún enlatado marca A

En la Tabla 4, se muestran las concentraciones de HgT encontradas en las diferentes muestras que se analizaron por duplicado.

Las muestras se identificaron de acuerdo al número de lote de los enlatados de atún codificado como marca A.

Tabla 4 Concentraciones de HgT obtenidos de muestras de atún enlatado de marca A

Número de lote	Porcentaje de humedad (%H)	HgT ($\mu\text{g}/\text{kg}$) peso seco	HgT ($\mu\text{g}/\text{kg}$) peso húmedo	HgT (mg/kg) peso húmedo	Media HgT (mg/kg) peso húmedo	Desviación estándar	CV(%)
RL 98W-B016W-5	68,212	$2,165 \times 10^3$	$6,881 \times 10^2$	0,03462	0,03426	0,0005116	0,77
		$2,141 \times 10^3$	$6,807 \times 10^2$	0,03390			
RL 34W-B016W-3	71,157	$1,521 \times 10^2$	$4,388 \times 10^1$	0,2111	0,2105	0,0009210	1,75
		$1,559 \times 10^2$	$4,498 \times 10^1$	0,2098			
RL 47W- B016W-2	66,391	$3,431 \times 10^2$	$1,153 \times 10^2$	0,05783	0,05723	0,0008486	1,87
		$3,341 \times 10^2$	$1,123 \times 10^2$	0,05663			
RL 04X-B015W-4	71,351	$7,599 \times 10^2$	$2,177 \times 10^2$	0,1068	0,1015	0,007520	8,99
		$8,632 \times 10^2$	$2,473 \times 10^2$	0,09616			
R L04X-B059W-4	70,789	$2,496 \times 10^2$	$7,291 \times 10^1$	0,3624	0,3652	0,003985	0,47
		$2,513 \times 10^2$	$7,339 \times 10^1$	0,3680			
R L07X-A059E-2	70,263	$2,344 \times 10^2$	$6,972 \times 10^2$	0,01997	0,02108	0,001558	1,76
		$2,287 \times 10^3$	$6,800 \times 10^2$	0,02218			
R L49W-016W-4	71,848	$4,169 \times 10^2$	$1,174 \times 10^2$	0,07272	0,07588	0,004472	4,47
		$4,441 \times 10^2$	$1,250 \times 10^2$	0,07904			
R L8X-A059W-3	71,303	$3,052 \times 10^2$	$8,759 \times 10^1$	0,01864	0,01798	0,0009235	3,29
		$2,913 \times 10^2$	$8,360 \times 10^1$	0,01733			
R L8X-D059W-3	69,137	$6,524 \times 10^2$	$2,013 \times 10^1$	0,1094	0,1090	0,0005576	2,27
		$6,318 \times 10^2$	$1,950 \times 10^1$	0,1086			
R L49W-116-3	71,125	$4,848 \times 10^2$	$1,400 \times 10^2$	0,06933	0,06923	0,0001382	6,54
		$4,420 \times 10^2$	$1,276 \times 10^2$	0,06913			

Los porcentajes de humedad se encuentran en el rango entre 66,39 y 71,85 %.

En la Tabla 4, se reportan las concentraciones de HgT en peso seco y en peso húmedo encontrados para las muestras analizadas. Los valores de concentración de HgT en peso húmedo para esta marca están entre $0,0439 \text{ mg/kg} \pm 1,75$ hasta $0,6972 \text{ mg/kg} \pm 1,76$.

Se obtuvo el coeficiente de variación entre 0,47 y 8,99%; siendo el lote RL 04X-B015W-4 el de mayor coeficiente de variación, sin embargo, se encuentra dentro del rango aceptable.

La Figura 2 muestra los valores de las concentraciones de HgT en peso húmedo para las 10 muestras. La mayor concentración de mercurio se encontró en el lote numerado como RL 98W-B016W-10.

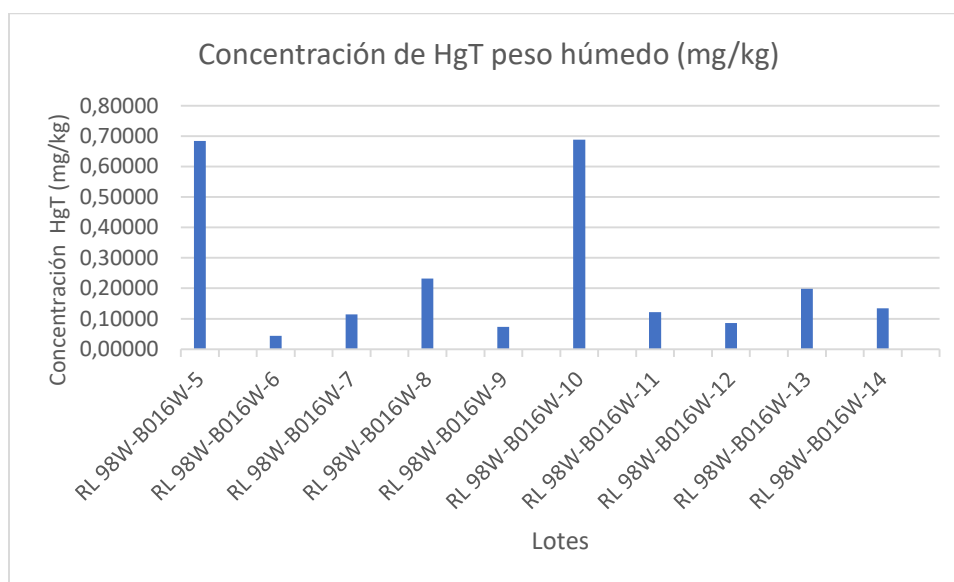


Figura 2 Datos finales obtenidos de la concentración (media) de HgT en peso húmedo de los atunes enlatados de marca A.

Cuantificación de HgT en carne de atún enlatado marca B

En la Tabla 5, se muestran las concentraciones de HgT encontradas en las diferentes muestras que se analizaron por duplicado.

Las muestras se identificaron de acuerdo al número de lote de los enlatados de atún codificado como marca B.

Tabla 5 Concentraciones de HgT obtenidos de muestras de atún enlatado de marca B

Número de Lote	Porcentaje de humedad (%H)	HgT ($\mu\text{g}/\text{kg}$) peso seco	HgT ($\mu\text{g}/\text{kg}$) peso húmedo	HgT (mg/kg) peso húmedo	Media HgT (mg/kg) peso húmedo	Desviación estándar	CV(%)
2331-7201	71,46	$1,430 \times 10^{03}$	$4,082 \times 10^{02}$	0,4082	0,4091	0,001249	0,31
		$1,437 \times 10^{03}$	$4,100 \times 10^{02}$	0,4100			
2331-7202	73,00	$1,538 \times 10^{03}$	$4,153 \times 10^{02}$	0,4153	0,4055	0,01388	3,42
		$1,465 \times 10^{03}$	$3,957 \times 10^{02}$	0,3957			
2331-7203	71,18	$2,212 \times 10^{03}$	$6,377 \times 10^{02}$	0,6377	0,6330	0,006615	1,05
		$2,180 \times 10^{03}$	$6,283 \times 10^{02}$	0,6283			
2331-7204	69,86	$3,378 \times 10^{03}$	$1,018 \times 10^{02}$	1,0181	0,9994	0,02644	2,65
		$3,254 \times 10^{03}$	$9,807 \times 10^{02}$	0,9807			
2331-7205	70,76	$8,299 \times 10^{02}$	$2,427 \times 10^{02}$	0,2427	0,2475	0,006798	2,75
		$8,628 \times 10^{02}$	$2,523 \times 10^{02}$	0,2523			
2331-7206	70,94	$1,135 \times 10^{03}$	$3,297 \times 10^{02}$	0,3297	0,3164	0,01873	5,92
		$1,043 \times 10^{03}$	$3,032 \times 10^{02}$	0,3032			
2331-7207	71,42	$9,418 \times 10^{02}$	$2,691 \times 10^{02}$	0,2691	0,2539	0,02154	8,48
		$8,352 \times 10^{02}$	$2,387 \times 10^{02}$	0,2387			
2331-7208	70,64	$7,004 \times 10^{02}$	$2,056 \times 10^{02}$	0,2056	0,2080	0,003355	1,61
		$7,165 \times 10^{02}$	$2,104 \times 10^{02}$	0,2104			
2331-7209	70,37	$8,686 \times 10^{02}$	$2,573 \times 10^{02}$	0,2573	0,2459	0,01610	6,54
		$7,917 \times 10^{02}$	$2,346 \times 10^{02}$	0,2346			

2331-7210	70,15	6,966 x10 ⁰²	2,079 x10 ⁰²	0,2079	0,2023	0,007959	3,93
		6,589 x10 ⁰²	1,967 x10 ⁰²	0,1967			

Los porcentajes de humedad se encuentran en el rango entre 69,86 y 73,00 %.

En la Tabla 5 podemos observar las concentraciones finales de HgT, en peso seco y en peso húmedo de los atunes enlatados. Los valores de concentración de HgT en peso húmedo se encuentran de $0,2000 \text{ mg/kg} \pm 2,76$ a $1,0181 \text{ mg/kg} \pm 2,65$.

Se obtuvo el coeficiente de variación para cada muestra que van entre 0,31 y 8,48%. Siendo la muestra de número de lote 2331-7207 la que presenta un mayor coeficiente de variación, sin embargo, se encuentra dentro del rango aceptable.

En la Figura 3 muestra los valores de las concentraciones de HgT en peso húmedo para las 10 muestras. La mayor concentración de mercurio se encuentra en el lote 2333-7204.

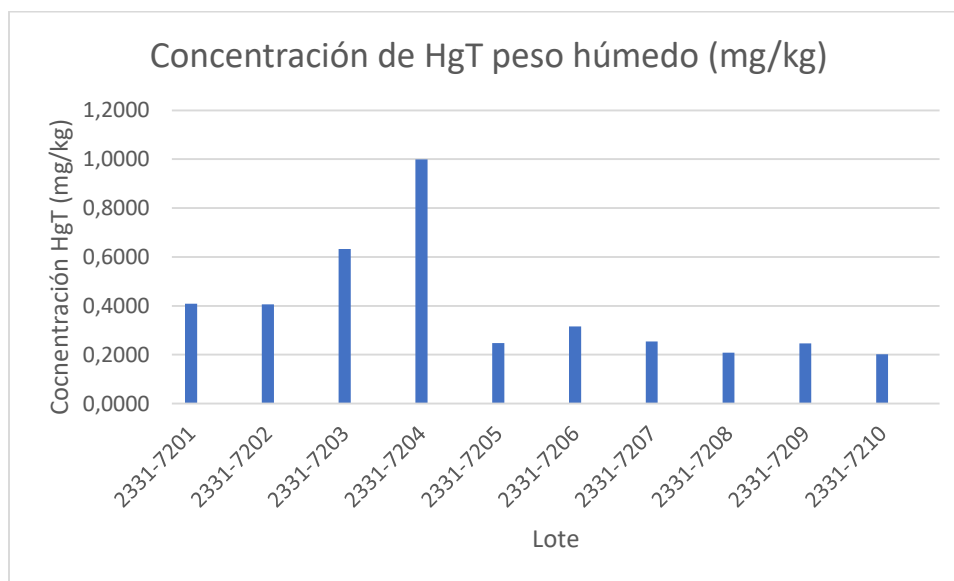


Figura 3 Figura 3 Concentración (media) de HgT en peso húmedo de los atunes enlatados de marca B

Cuantificación de HgT en muestras de atún enlatados marca C.

En la Tabla 6, se muestran las concentraciones de HgT encontradas en las diferentes muestras que se analizaron por duplicado.

Las muestras se identificaron de acuerdo al número de lote de los enlatados de atun codificado como marca C.

Tabla 6 Concentraciones de HgT obtenidos de muestras de atún enlatado de marca C

Número de lote	Porcentaje de humedad (%H)	HgT ($\mu\text{g}/\text{kg}$) peso seco	HgT ($\mu\text{g}/\text{kg}$) peso húmedo	HgT (mg/kg) peso húmedo	media HgT (mg/kg) peso húmedo	Desviación estándar	CV (%)
21-435-4YL	69,50	$1,135 \times 10^{02}$	$3,462 \times 10^{01}$	0,03462	0,03426	0,0005116	1,49
		$1,112 \times 10^{02}$	$3,390 \times 10^{01}$	0,03390			
21-124-4YL	56,98	$4,908 \times 10^{02}$	$2,111 \times 10^{02}$	0,2111	0,2105	0,0009210	0,44
		$4,878 \times 10^{02}$	$2,098 \times 10^{02}$	0,2098			
21-259-4YL	69,53	$1,898 \times 10^{02}$	$5,783 \times 10^{01}$	0,05783	0,05723	0,0008486	1,48
		$1,859 \times 10^{02}$	$5,663 \times 10^{01}$	0,05663			
21-322-4YL	77,62	$4,772 \times 10^{02}$	$1,068 \times 10^{02}$	0,1068	0,1015	0,007520	7,41
		$4,297 \times 10^{02}$	$9,616 \times 10^{01}$	0,09616			
L21-330-4YL	70,20	$1,216 \times 10^{03}$	$3,624 \times 10^{02}$	0,3624	0,3652	0,003985	1,09
		$1,235 \times 10^{03}$	$3,680 \times 10^{02}$	0,3680			
L21-137-4YL	70,25	$6,714 \times 10^{01}$	$1,997 \times 10^{01}$	0,01997	0,02108	0,001558	7,39
		$7,455 \times 10^{01}$	$2,218 \times 10^{01}$	0,02218			
L22-137-4YL	70,94	$2,503 \times 10^{01}$	$7,272 \times 10^{01}$	0,07272	0,07588	0,004472	5,89
		$2,720 \times 10^{02}$	$7,904 \times 10^{01}$	0,07904			
L21-136-4YL	69,70	$6,151 \times 10^{01}$	$1,864 \times 10^{01}$	0,01864	0,01798	0,0009235	5,13
		$5,720 \times 10^{01}$	$1,733 \times 10^{01}$	0,01733			
L20-140-4YL	71,74	$3,870 \times 10^{02}$	$1,094 \times 10^{02}$	0,1094	0,1090	0,0005576	0,51
		$3,842 \times 10^{02}$	$1,086 \times 10^{02}$	0,1086			
L21-259-4YL	71,53	$2,435 \times 10^{02}$	$6,933 \times 10^{01}$	0,06933	0,06923	0,0001382	0,20

		$2,429 \times 10^{02}$	$6,913 \times 10^{01}$	0,06913		
--	--	------------------------	------------------------	---------	--	--

Los porcentajes de humedad se encuentran en el rango entre 56,98 y 77,62 %.

En la Tabla 6 podemos observar las concentraciones finales de HgT, en peso seco y en peso húmedo de los atunes enlatados. Los valores de concentración de HgT en peso húmedo se obtuvo $0,0173 \text{ mg/kg} \pm 5,14$ a $0,3680 \text{ mg/kg} \pm 1,09$.

Se obtuvo el coeficiente de variación para cada muestra que van entre 0,20 y 7,41%. Siendo el lote 21-322-4YL la que presenta un mayor coeficiente de variación, sin embargo, se encuentra dentro del rango aceptable.

La Figura 4 muestra los valores de las concentraciones de mercurio total en peso húmedo para las 10 muestras. La mayor concentración de HgT se encuentra en la muestra L21-330-4YL.

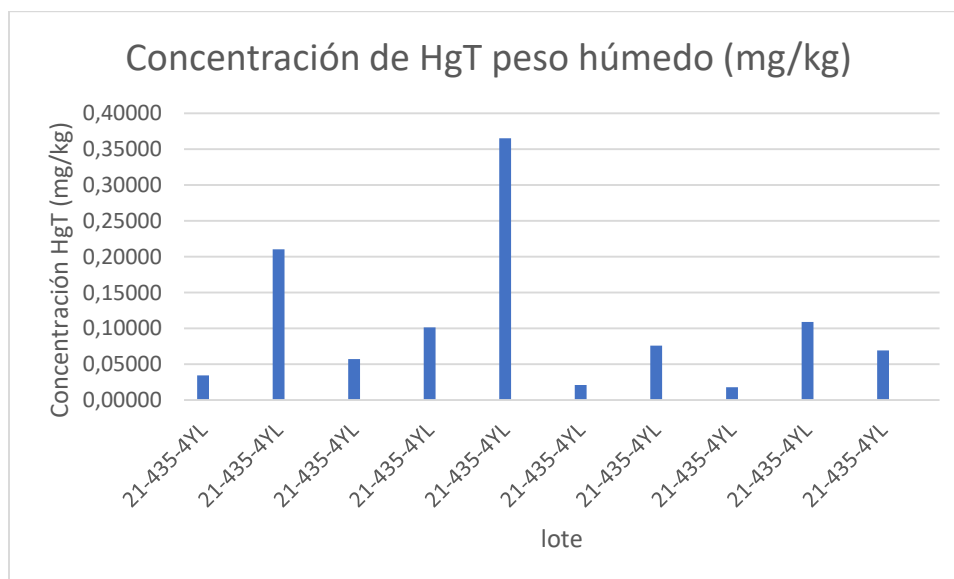


Figura 4 Datos finales obtenidos de la concentración (media) de HgT en peso húmedo de los atunes enlatados de marca C

5 Discusión

Los resultados indican que existe una variabilidad en el contenido HgT en las diferentes marca y entre los número de lotes de cada una de ellas; resultado que puede asociarse al tipo de atún que se utilizado encada marca, que en el Ecuador se centra particularmente en la captura de las siguientes especies: atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*), atún patudo (*Thunnus obesus*) y atún barrilete (*Katsuwonus Pelamis*) (Ministerio de Comercio Exterior, 2017); otros factores que se pueden tomar en cuenta para esta variabilidad es el tamaño, la edad y la procedencia de los atunes utilizados (Peterson, Klawe, & Sharp, 1973). Esto afectaría el resultado, debido a que, pueden contener más Hg en la parte procesada (musculo) para el consumo humano.

Las etiquetas en las latas de atún analizadas no especifican la zona de procesamiento o zona de captura; sería de importancia esta información ya que, la concentración de mercurio, son mayores en algunos lugares geográficos por diversas razones, como: industrias o procesos biológicos naturales. Además, se ha planteado la variabilidad de acumulación de Hg dependiendo del sexo de los peces, debido que, afectan a la velocidad del crecimiento del animal; mientras más viejo y grande sea el pez, este tendrá una mayor acumulación de metilmercurio en sus tejidos, esto es consecuencia de la biomagnificación (Ambiente, Agencia Europea de Medio, 2018).

La biomagnificación, es consecuencia de las trazas de mercurio solubles en cuerpos de agua, lagos, ríos o mares, que puede ser fácilmente absorbido por los organismos acuáticos algas y plancton (Alcala Orozco & Morillo Garcia, 2015); los peces pequeños se alimentan de estos organismos, y los peces más grandes se alimentan de estos peces pequeños, por lo tanto, el metilmercurio se bioacumula a medida que se asciende en la cadena alimenticia, alcanzando hasta

el 95 % del total de HgT en pescado y productos pesqueros (Ambiente, Agencia Europea de Medio, 2018).

Tabla 7 Límites permisibles de mercurio total en latas de atunes (Lalangui-López, Lema-Chóez, García-Larreta, Santi, & Mariscal-García, 2017).

Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria NTE INEN 184:2013	Administración de alimentos y medicamentos (FDA)	Unión Europea (EU)	Organización Mundial de la Salud (OMS)	Codex alimentarius
1 mg/kg	1 ppm	0,5 ppm	0,5 ppm	0,5 ppm

Cuando se compararán los resultados de las muestras de atún en agua analizadas (A, B y C) con los límites establecidos por las diferentes normas tanto nacionales como internacionales, Tabla 7, se puede observar que ninguna marca supera el límite máximo establecido por la INEN 184:2013 y FDA. Sin embargo, hay lotes que sobrepasaron los límites establecidos por la EU, OMS y el Codex alimentarios tales como los numerados, para la marca A, los lotes RL 98W-B016W-5 $0,6844 \pm 0,77$ y RL 98W-B016W-10 $0,6886 \pm 1,76$. Para la marca B, 2331-7203 $0,03630 \pm 0,0066$ mg/kg, para la marca C, lote 21-435-4YL $0,0572 \pm 1,48$.

La evaluación de los niveles de HgT en matice alimentarias representa un factor importante desde el punto de vista toxicológico para la estimación de los impactos potenciales sobre la salud pública (Lombona, Lans, & Pinedo, 2021). El HgT es la forma más peligrosa para la salud humana, debido que, origina daños en el sistema nervioso central, pérdida de la conciencia y muerte. El HgT puede llegar a cruzar la barrera hemtoencegalica como la placentaria llegando a causar daños neurológicos tanto a fetos como a niños, esto se debe a que en este grupo vulnerable se encuentra aún en desarrollo el sistema nervioso, por lo que, se pueden desarrollar enfermedades como

microcefalia, retardo en el desarrollo, deterioro cognitivo y trastornos neurológicos (Lombona, Lans, & Pinedo, 2021).

Como ejemplo, podemos citar a lo que sucedió en Minimata, Japón e Irak, con las intoxicaciones debido al metilmercurio. Se encuentra en la literatura que, las madres podían ser asintomáticas o asimismo tenían efectos tóxicos leves cuando tuvieron sus hijos, mientras que los bebés estaban severamente afectados (Amin-Zaki, y otros, 1979). Podía ser que los niños al nacer parecieran normales, sin embargo, con el paso del tiempo se observaba el retraso psicomotor, la ceguera, sordera y convulsiones. Gracias a esto, se desarrollaron al paso del tiempo investigaciones para identificar los efectos subclínicos del metil mercurio (Amin-Zaki, y otros, 1974). Existen tres estudios: cohorte de Irak (Bakir, Demluji, Amin-Saki, & al., 1973), Islas Seychelles (Amin-Zaki, y otros, 1979), y otro en las Faroe (Greandjean, y otros, 1997). En estos tres estudios se dedican a los efectos del metilmercurio (MeHg) en los niños a diferentes exposiciones de sus madres. Principalmente se consideraba como biomarcadores: sangre, pelo y uñas.

6 Conclusiones

Mediante espectrofotometría de fluorescencia atómica de vapor frío acoplado, se concluyó que todas las muestras de atún enlatado presentan mercurio en su composición.

El porcentaje de recuperación se encuentra entre 89,8 a 119,9 %; por lo que, se concluye que el método tiene la exactitud necesaria para poder analizar el mercurio en latas de atún.

Las muestras analizadas cumplen parcialmente con los límites permisibles de HgT en muestras de pescado, todos los lotes cumplen con el límite máximo establecido por la INEN 184:2013 y FDA. Por otro lado, se puede observar lotes que sobrepasaron los límites establecidos por la EU, OMS y el Codex alimentarios tales como los numerados, para la marca A, los lotes RL 98W-B016W-5 $0,6844 \pm 0,77$ y RL 98W-B016W-10 $0,6886 \pm 1,76$. Para la marca B, 2331-7203 con $0,03630 \pm 0,0066$ mg/kg, para la marca C, lote 21-435-4YL $0,0572 \pm 1,48$ La variación de HgT, se asocia de varios factores, como la biomagnificación y la ubicación geográfica de donde se realiza la pesca.

Recomendaciones

- Realizar un plan de muestreo que abarque las marcas de atún con mayor consumo entre la población a nivel nacional.
- Con el fin de obtener una alta confiabilidad en la cuantificación de HgT en atún enlatado en agua, se recomienda hacer un análisis periódico de las diferentes marcas ya que, se sabe que los lotes de producción pueden variar.
- Para corroborar la técnica de análisis utilizada para la cuantificación de HgT, se sugiere el uso de un material de referencia certificado.

7 Referencias bibliográficas

- Alcala Orozco, M., & Morillo Garcia, J. (2015). Niveles de Mercurio total en atun enlatado distribuido en Cartagena.
- Ambiente, Agencia Europea de Medio. (17 de 10 de 2018). *El mercurio, una amenaza persistente para el medio ambiente y la salud*. Obtenido de <https://www.eea.europa.eu/es/articulos/el-mercurio-una-amenaza-persistente>
- Amin-Zaki, Elhassani, Majeed, Clarkson, Doherty, & Greenwood. (1974). Intra-uterine methulmercury poisoning in Iraq. *Pediatrics*, 587.
- Amin-Zaki, Majeed, Elhassani, Clarkson, Greenwood, & Doherty. (1979). Prenatal methylmercury poisoning. Clinical Observations over five years. *Am J Dis Child*, 172.
- Bakir, Demluji, Amin-Saki, & al., e. (1973). Methylmercury poisonin in Iraq. *Science*, 230.
- Bravo, J. (1979). *Determinación de arsénico y mercurio mediante análisis por activación neutrónica instrumental en sombras en polvo*. Obtenido de https://bibliotecadigital.uchile.cl/discovery/fulldisplay?vid=56UDC_INST:56UDC_INST&search_scope=MyInst_and_CI&tab=Everything&docid=alma991007219959703936&lang=es&context=L&adaptor=Local%20Search%20Engine&query=sub,exact,%20Pseudomonas%20aeruginosa%20,AND
- Burgos, E. (2015). *IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE VOLTAMPEROMETRÍA DIFERENCIAL DE PULSOS CONREDISOLUCIÓN ANÓDICA (DPASV) PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN ATÚN ENLATADO*. Obtenido de <https://1library.co/document/1y92dedz-implementacion-metodologia-voltamperometria-diferencial-redisolucion-anodica-determinacion-mercurio.html>

- Bustamante, L. (2020). *Determinacion y cantidad de mercurio total en tejido muscular de pargo (Lutianus colorado), mediante la técnica de vapor frío a espectrofotometro de fluorescencia atomica (CV-AFS)*. Obtenido de Pontificia Universidad Catolica del Ecuador: <http://repositorio.puce.edu.ec:80/xmlui/handle/22000/18007>
- Camara Nacional de Pescaderia CNP. (2018). *Camara de Pesqueria*. Obtenido de Atun pelagicos y productos derivados: <https://camaradepesqueria.com/ecuador-rico-variedades-atun-pelagicos-y-productos-derivados/>
- Chaves, I. R. (2015). Metodologías analíticas utilizadas actualmente para la determinación de mercurio en músculo de pescado. *Medio Ambiental y Salud*, 113-122. Obtenido de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/pensamiento-actual/article/view/25187/25453>
- Cortes, C. (2017). *Determinación de mercurio orgánico e inorgánico en muestras ambientales*. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/61022/52352227.2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Escobar, O. (2010). *Bioacumulacion y Biomagnificacion de Mercurio y Selenio en peces Pelágicos*. Obtenido de <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/16358/1/escobars2.pdf>
- Gaiolio, M., Amoedo, D., & Gonzalez, D. (2012). Impacto del mercurio sobre la salud humana y el ambiente. *Arch Argent Pediatr*, 259-264. Obtenido de <https://www.sap.org.ar/docs/publicaciones/archivosarg/2012/v110n3a18.pdf>
- Grandjean, Weihe, White, Debes, Araki, & Yokoyama. (1997). Cognitive deficit in 7 year old children with prenatal exposure to methylmercuri. *Neurotoxicol Teratol*, 417.
- IATTC. (2018). *COMISIÓN INTERAMERICANA DEL ATÚN TROPICAL*. Obtenido de Atunes, peces picudos, y otras especies pelágicas en el OPO en 2017: https://www.iatcc.org/Meetings/Meetings2018/IATTC-93/Docs/_Spanish/IATTC-93-01_La-pesqueria-en-2017-y-la-condicion-de-las-poblaciones-de-atunes-y-peces-picudos.pdf
- Industria de Pescaderia del Ecuador. (2018). *La industria pesquera del Ecuador*. Obtenido de La industria pesquera del Ecuador: <http://www.ecuador.com/espanol/blog/laindustria-pesquera-del-ecuador/>
- Lalangui, K., Lema, E., & Garcia, F. (2017). *Revista Científica Dominio de LAS CIENCIAS*, 148-164.
- Lalangui, K., Lema, E., García, F., Mariscal, W., & Mariscal, R. (2017). Determinación de Mercurio en atún enlatado por Espectrofotometría de Absorción Atómica. *Dominio de las Ciencias*, 148-164.
- Lalangui-López, K. I., Lema-Chóez, E. A., García-Larreta, F. S., Santi, W. E., & Mariscal-García, R. S. (2017). Determinación de Mercurio en atún enlatado por Espectrofotometría de Absorción Atómica. *Dominio de las Ciencias*, 148-164.

- Lima, K. (2010). Evaluación de los niveles de mercurio total y mercurio orgánico en muestras de suelos procedentes de Instituciones Educativas del pueblo "El Callao, Estado Bolívar, Venezuela".
- Lombona, M., Lans, E., & Pinedo, J. (2021). Concentraciones de mercurio en atún comercializado en Montería, Colombia: evaluación del riesgo en la salud. *Salud Pública*, 1-7.
- Ministerio de Comercio Exterior. (08 de 2017). *Informe sobre el sector atunero Ecuatoriano*. Obtenido de <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2019/06/Reporte-del-sector-atunero.pdf>
- Ministerio del Medio Ambiente de Japón. (09 de 2013). *Enseñanzas de la enfermedad de Minimata y el Manejo del Mercurio*. Obtenido de https://www.env.go.jp/chemi/tmms/pr-m/mat01/es_full.pdf
- Miniussi, C., & Perez, R. (1971). APLICACION DE LA FLUORESCENCIA DE RAYOS X AL ANALISIS DE PINTURAS ANTIINCRUSTANTES DETERMINACION DE MERCURIO. *CIC Digital*, 151-159. Obtenido de 1971: https://digital.cic.gba.gob.ar/bitstream/handle/11746/592/11746_592.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Moreira, Í. P., Baque, C. G., Delgado, H. E., & Muentes, X. E. (2016). DETERMINACIÓN DE MERCURIO EN ENLATADOS DE ATÚN COMERCIAL DE LA CIUDAD DE MANTA, PROVINCIA DE MANABI - ECUADOR. *Alimentos Hoy*, 70-108.
- Nardi, E., Evangelista, F., Tormen, L., SaintPierre, T., Curtius, A., Souza, S., & Barbosa, F. (2009). The use of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) for the determination of toxic and essential elements in different types of food samples. *Food chemistry*, 727-732. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.06.010>
- OMS. (31 de 03 de 2017). *El mercurio y la Salud*. Obtenido de who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health
- ONG. (31 de 03 de 2017). *El mercurio y la Salud*. Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health>
- Peterson, Klawe, & Sharp. (1973). Mercury in Tuna: a review. *Fish Bull*, 603-613.
- Raimann, X., & Rodriguez, L. (2014). Mercurio en pescados y su importancia en la Salud. *Scielo*, 45-52.
- Suarez, R., Arévalo, E., & Ustáriz, F. (2009). Validación de un método analítico para la determinación de magnesio eritrocitario. *Avances en Química*, 53-62.
- The Vermont Department of Environmental Conservation. (2018). *Mercury in fish*. Obtenido de <https://dec.vermont.gov/sites/dec/files/wmp/SolidWaste/Documents/alittlebit.pdf>
- Worfold, P., Townshend, A., & Poole, C. (2005). Atomic Fluorescence Spectrometry. *Encyclopedia of Analytical Science*, 221-228.
- Yanez, G., Romero, D., Navarrete, H., & Velez, K. S. (2020). Optimization of a Digestion Method to Determine Total Mercury in Fish Tissue by Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrophotometry. *Methods and Protocols*, 1-12.

Zuleta, L., & Becerra, A. (2013). *Fededesarollo*.

8 Anexos

Tabla 7 Lote y pesos de muestra de la marca A

Lotes	Peso muestra (g)	Lectura del Equipo (µg/L)
RL 98W-B016W-5	0,1012	4,411
	0,1002	4,321
RL 34W-B016W-3	0,3091	0,952
	0,3029	0,956
RL 47W- B016W-2	0,0967	0,675
	0,1019	0,693
RL 04X-B015W-4	0,1044	1,658
	0,1024	1,839
R L04X-B059W-4	0,0995	0,602
	0,1034	0,625
R L07X-A059E-2	0,0998	4,785
	0,1075	5,022
R L49W-016W-4	0,1029	0,870
	0,1004	0,903
R L8X-A059W-3	0,1042	0,648
	0,1021	0,607
R L8X-D059W-3	0,1019	1,351
	0,1038	1,333
R L49W-116-3	0,1038	1,028
	0,1042	0,943

Tabla 8 Lote y pesos de muestra de la marca B

Lotes	Peso muestra (g)	Lectura del Equipo (µg/L)
2331-7201	0,1059	3,054
	0,1052	3,047
2801-1801	0,1029	3,19
	0,1078	3,184
0901-1801	0,1000	4,449
	0,1022	4,48

3261-1801	0,1039	7,044
	0,1011	6,604
2255-1801	0,1000	1,731
	0,101	1,814
2252-1902	0,1006	2,354
	0,1034	2,229
2253-2001	0,1032	2,015
	0,1035	1,8
2791-1801	0,1015	1,493
	0,1027	1,543
2801-1801	0,1129	1,984
	0,1075	1,725
2901-1901	0,1107	1,565
	0,1033	1,384

Tabla 9 Lote y pesos de muestra de la marca C

Lotes	Peso muestra (g)	Lectura del Equipo (µg/L)
21-435-4YL	0,3039	0,7145
	0,3004	0,6923
21-124-4YL	0,3041	2,9970
	0,3024	2,9620
21-259-4YL	0,3022	1,1590
	0,3043	1,1430
21-322-4YL	0,3089	2,9600
	0,2992	2,5940
L21-330-4YL	0,1041	2,5430
	0,1004	2,4910
L21-137-4YL	0,3029	0,4295
	0,2987	0,4681
L22-137-4YL	0,3000	1,6070
	0,3032	1,7550
L21-136-4YL	0,3013	0,3921
	0,3025	0,3675
L20-140-4YL	0,3006	2,3480
	0,3089	2,3950
L21-259-4YL	0,3058	1,5110
	0,3079	1,5170

Tabla 10 Peso muestra y blanco para el %R

Código para cada nivel de fortificación	Peso muestra (g)	Blanco	Lectura del equipo (µg/L)
Fort 1ppb	0,1017	0,02946	1,266
Fort 1ppb	0,1047	0,02946	1,277
Fort 1ppb	0,1006	0,02946	1,249
Fort 4ppb	0,1007	0,5098	4,168
Fort 4ppb	0,1077	0,02274	3,863
Fort 1ppb	0,1006	0,1054	1,307
Fort 1ppb	0,1044	0,02146	1,223
Fort 4ppb	0,1046	0,01162	3,713
Fort 4ppb	0,1064	0,01162	4,069
Fort 4ppb	0,1001	0,01162	3,786

Análisis de resultados cálculos modelos

Tabla 11 Datos obtenidos de la primera muestra de atún enlatado de la marca C

Número de lote	% H	Peso muestra (g)	Lectura del equipo (µg/L)	Blanco	Media del blanco	Desviación estándar	CV(%)
21-435-4YL	69,50	0,3039	0,7145	0,02450	0,03430	0,0005116	1,49
21-435-4YL		0,3004	0,6923	0,02450			

Calculo modelo para determinar el HgT en peso seco en µg/kg

$$\text{peso seco} = \frac{(\text{Lectura del equipo} - \text{blanco}) * \text{volumen de aforo}}{\text{peso de la muestra}}$$

$$\text{peso seco} = \frac{(0,7145 - 0,0245) * 50}{0,3039}$$

$$\text{peso seco para I1} = 113,5242$$

$$\text{peso seco para I1.1} = 111,1518$$

Calculo modelo para determinar el HgT en peso húmedo $\mu\text{g}/\text{kg}$

$$\text{peso húmedo} = \frac{\text{Peso seco} * (100 - \% \text{humedad})}{100}$$

$$\text{peso húmedo} = \frac{113,5242 * (100 - 69,5044)}{100}$$

$$\text{peso húmedo 1} = 34,6199$$

$$\text{peso húmedo 1.1} = 33,8964$$

Calculo modelo para determinar el HgT en peso húmedo mg/kg

$$\text{peso húmedo} = \frac{\text{Peso húmedo}}{1000}$$

$$\text{peso húmedo} = \frac{34,6199}{1000}$$

$$\text{peso húmedo 1} = 0,0346$$

$$\text{peso húmedo 1.1} = 0,0339$$

Desviación estándar

$$S = \sqrt{\frac{\Sigma(x - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{((0,0346 - 0,0343) + (0,0339 - 0,0343))^2}{2 - 1}}$$

$$S = 0,0005116$$

Coeficiente de variación

$$\% CV = \frac{S}{\text{peso seco}} * 100$$

$$\% CV = \frac{0,0005116}{0,0343} * 100$$

$$\% CV = 1,49$$

Calculo modelo para el control de calidad (Porcentaje de recuperación)

Tabla 12 Datos obtenidos para calcular el % R

Código para la fortificación	Peso muestra (g)	L (µg/L)	Blanco	HgT (µg/kg)
Fort 1ppb	0,1017	1,266	0,02946	607,9351

T Hg (µg/kg) muestra real: 115,48

Concentración de la fortificación: 491,6420

$$\% R = \frac{\text{Valor muestra fortificada} - \text{valor muestra real}}{\text{Concentración de fortificación}} * 100$$

$$\% R = \frac{607,9351 - 115,48}{491,6420} * 100$$

$\% R = 101,0 \%$