



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**Cuantificación de mercurio total en carnes de atún conservadas en
agua, comercializadas en la ciudad de Quito-Ecuador**

Disertación previa a la obtención del título de Químico

ADRIANA VANESSA AGUILAR MIRANDA

Directora: Lenys M. Fernández M.

Quito, 2023

CERTIFICACIÓN

CERTIFICACIÓN

Certifico que la disertación de Químico, de mi tesista **ADRIANA VANESSA AGUILAR MIRANDA**, ha sido concluida conforme a las normas establecidas; por tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.

A handwritten signature in blue ink, reading "Lenys M. Fernández Martínez".

Ph.D. Lenys Fernández Martínez

Directora de la disertación

Quito, 30 de junio de 2023

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mis papás, David Aguilar y Vanessa Miranda, por el gran esfuerzo que hicieron para que yo pueda terminar la carrera con éxito, por ayudarme a superar cada obstáculo y por estar siempre presentes en cada paso de esta etapa universitaria.

Los quiere mucho,

Adrii

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme vida y permitirme acabar con salud y bienestar esta etapa de mi vida.

A mis papás, por ser mis guías a lo largo de toda mi vida, por todo el esfuerzo que hacen día a día, por permitirme continuar con mis estudios a pesar de todas las circunstancias y por su amor incondicional que siempre nos brindan a mi hermana y a mí.

A mi directora de tesis, Dra. Lenys Fernández, por ser de las mejores profesoras que he conocido, por acompañarme y estar pendiente de mi desarrollo profesional a lo largo de la carrera; y por permitirme participar en este proyecto, el cual se desarrolló con éxito.

A mi hermana, Daniela, por levantarme los ánimos y estar siempre ahí durante toda la carrera.

A mi abuelita, primos y tía, por estar pendientes de mi desarrollo a lo largo de esta etapa y siempre desearme lo mejor.

A mis amigos, Francisco, Daniel, Wagner, Wilson, por mencionar algunos, por las risas y todos los momentos que hemos vivido a lo largo de estos 4 años que nos han unido más y nos han dejado grandes enseñanzas.

A mis profesores, por su paciencia, por su tiempo, por compartirme sus conocimientos y todas sus experiencias para enriquecer mi aprendizaje y por todos los buenos momentos vivido en cada clase.

LISTA DE ABREVIATURAS

%CV: Coeficiente de Variación

%R: Porcentaje de Recuperación

[Blanco]: Concentración del Blanco

[Hg]: Concentración de Mercurio

[MRC]: Concentración de Material de Referencia Certificado

AOAC: Association of Official Agricultural Chemists

CV-AFS: Espectrometría de Fluorescencia Atómica Acoplado A Vapor Frío, en español.

EPA: Environmental Protection Agency

FAO: Food and Agriculture Organisation

FDA: Food and Drug Administration

H₂O₂: Agua oxigenada

HClO₄: Ácido perclórico

Hg: Mercurio

HgT: Mercurio Total

HNO₃: Ácido nítrico

INEN: Servicio Ecuatoriano de Normalización

MRC: Material de Referencia Certificado

NTE: Norma Técnica Ecuatoriana

r²: Coeficiente de Correlación Lineal

TABLA DE CONTENIDOS

1. RESUMEN	9
2. ABSTRACT	9
3. INTRODUCCIÓN.....	10
4. OBJETIVOS.....	13
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	13
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
5. METODOLOGÍA	13
5.1. MATERIALES Y EQUIPOS	13
5.2. MUESTREO	14
5.3. TRATAMIENTO DE LA MUESTRA.....	14
5.4. CUANTIFICACIÓN DE MERCURIO TOTAL MEDIANTE LA TÉCNICA DE ESPECTROMETRÍA DE FLUORESCENCIA ATÓMICA ACOPLADO A VAPOR FRÍO	15
6. RESULTADOS	16
7. DISCUSIÓN	20
8. CONCLUSIONES.....	24
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
10. ANEXOS.....	27

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Curva de calibración obtenida mediante el equipo MercurPlus.	18
Figura 2. Curva de calibración del día 03 de mayo de 2023.	30
Figura 3. Curva de calibración del día 05 de mayo de 2023.	31
Figura 4. Curva de calibración del día 10 de mayo de 2023.	32
Figura 5. Curva de calibración del día 12 de mayo de 2023.	32
Figura 6. Curva de calibración del día 18 de mayo de 2023.	33
Figura 7. Curva de calibración del día 19 de mayo de 2023.	34
Figura 8. Curva de calibración del día 23 de mayo de 2023.	34
Figura 9. Curva de calibración del día 24 de mayo de 2023.	35
Figura 10. Curva de calibración del día 29 de mayo de 2023.	36
Figura 11. Análisis ANOVA (Anexos)	

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Condiciones utilizadas para el método de digestión ácida por microondas.....	15
Tabla 2. Porcentaje de humedad de las muestras de la Marca A.	16
Tabla 3. Porcentaje de humedad de las muestras de la Marca B.	16
Tabla 4. Porcentaje de humedad de las muestras de la Marca C.	17
Tabla 5. Datos para la curva de calibración obtenida por el promedio de las nueve curvas, mediante el equipo MercurPlus.	17
Tabla 6. Concentraciones del blanco y del MRC expresadas en [ug/L].	18
Tabla 7. Límites permitidos por la AOAC.....	19
Tabla 8. Concentración de Hg expresadas en [mg/kg] de las muestras de la marca A. .	19
Tabla 9. Concentración de Hg expresadas en [mg/kg] de las muestras de la marca B. .	19
Tabla 10. Concentración de Hg expresadas en [mg/kg] de las muestras de la marca C.	20
Tabla 11. Límites permisibles de mercurio total	21
Tabla 12. Comparación de las concentraciones y %CV obtenidas de la marca A de ambos estudios.....	23
Tabla 13. Comparación de las concentraciones y %CV obtenidas de la marca A de ambos estudios.....	23
Tabla 14. Comparación de las concentraciones y %CV obtenidas de la marca A de ambos estudios.....	24
Tabla 15. Datos de las muestras de la marca A con sus réplicas (R).....	27
Tabla 16. Datos de las muestras de la marca B con sus réplicas (R).	28
Tabla 17. Datos de las muestras de la marca C con sus réplicas (R).	29
Tabla 18. Valores de concentración de blancos digeridos.	29
Tabla 19. Valores de concentración de MRC digeridos.	30
Tabla 20. Datos para curva de calibración del día 03 de mayo de 2023.	30
Tabla 21. Datos para curva de calibración del día 05 de mayo de 2023.	31
Tabla 22. Datos para curva de calibración del día 10 de mayo de 2023.	31
Tabla 23. Datos para curva de calibración del día 12 de mayo de 2023.	32
Tabla 24. Datos para curva de calibración del día 18 de mayo de 2023.	33
Tabla 25. Datos para curva de calibración del día 19 de mayo de 2023.	33
Tabla 26. Datos para curva de calibración del día 23 de mayo de 2023.	34
Tabla 27. Datos para curva de calibración del día 24 de mayo de 2023.	35
Tabla 28. Datos para curva de calibración del día 29 de mayo de 2023.	35

RESUMEN

El mercurio es un elemento químico que se puede encontrar en los productos alimenticios provenientes del mar como resultado de su capacidad de bioacumulación. Debido al alto consumo por la población de estos alimentos, es importante un control de cuánto Hg se puede consumir que no afecte a la salud de las personas y cuánto se está consumiendo. En el presente trabajo se cuantificó el Hg total en muestras de carne de atún enlatados en agua seleccionados de supermercados del Distrito Metropolitano de Quito-Ecuador, con el fin de verificar si la cantidad de Hg contenido en este alimento cumple con las normativas Codex *alimentarius*, FDA 2001 y con la norma NTE INEN 184:2013 de las legislaciones del Ecuador. Los resultados obtenidos por espectroscopia de fluorescencia atómica indicaron que las marcas cumplen parcialmente con los límites permisibles establecidos por las normas antes mencionadas.

ABSTRACT

Mercury is a chemical element that can be found in products from the sea due to its ability to bioaccumulate. Due to the high consumption of these foods by the population, it is important to control how much Hg can be consumed that does not affect people's health and how much is being consumed. In the present work, the total Hg was quantified in samples of tuna meat canned in water selected from supermarkets of the Metropolitan District of Quito-Ecuador, to verify if the amount of Hg contained in this food complies with Codex *alimentarius* regulations, FDA 2001 and with the NTE INEN 184:2013 standard of the laws of Ecuador. The results obtained by atomic fluorescence spectroscopy indicated that the marks partially comply with the permissible limits established by the aforementioned standards.

INTRODUCCIÓN

El mercurio (Hg) es un elemento líquido y volátil, liberado a la atmósfera en forma de vapor por fenómenos naturales y acciones antropogénicas como erupciones volcánicas, movimientos de masas de agua, erosión, procesos biológicos, quema de combustibles fósiles e incendios forestales. Una vez que este elemento se encuentra ya en la superficie terrestre se puede combinar con otros elementos y formar compuestos inorgánicos y orgánicos (Equipar, 2019).

El mercurio está presente en la mayoría de los recursos naturales, incluyendo suelos, carbón, minerales y se presenta en tres formas: mercurio elemental, sal inorgánica de mercurio y mercurio orgánico. Esta última utilizada como biocidas y pesticidas (Raimann et al., 2014), es la de mayor riesgo para la salud, dentro de los cuales se tiene el metilmercurio, etilmercurio y fenilmercurio.

El más conocido es el metilmercurio (MeHg); producido cuando el Hg llega a los cuerpos acuíferos y, por microorganismos, es biotransformado en MeHg, que es la forma más tóxica para los seres vivos (Equipar, 2019). Dicho compuesto afecta, principalmente, a las cadenas alimenticias acuáticas (peces y mamíferos marinos) y, por consiguiente, al ser humano que consume los productos con altas concentraciones de Hg (Raimann et al., 2014).

Los peces retienen grandes concentraciones de MeHg, mismas que son absorbidas por los humanos al consumirlos, causando repercusiones en la salud, en mujeres embarazadas, mujeres en edad fértil, madres que están dando el pecho y bebés (EPA, 2022).

Si las mujeres embarazadas están en exposición ante MeHg, el feto puede tener afectaciones al crecimiento del cerebro y al sistema nervioso. Si bien estos niños intoxicados con MeHg parecen normales al nacer, con el paso del tiempo pueden tener problemas de memoria, atención, lenguaje, habilidades motoras finas, y habilidades visuales espaciales (EPA, 2022). En los adultos, la exposición a MeHg provoca pérdida de la visión periférica, sensaciones de cosquilleo, por lo general, en las manos, pies y alrededor de la boca, falta de coordinación de movimientos, disfunción del habla, audición y capacidad de caminar y debilidad muscular (EPA, 2022). Si la intoxicación por MeHg alcanza niveles muy altos, puede provocar la muerte.

Los mariscos y peces de mayor tamaño son los que contienen mayor cantidad de MeHg en su organismo como, por ejemplo, el pez espada, tiburón, lucio y, especialmente, el atún rojo (Elika, 2022).

El atún es uno de los pescados más consumidos a nivel mundial, especialmente el atún enlatado, ya sea en agua o en aceite. Sin embargo, no todos los países tienen a disposición este alimento, por lo que deben importar de los países productores (NIRSA, 2022).

Ecuador es el segundo productor de atún enlatado en el mundo, detrás de Tailandia; debido a que el país cuenta con la flota atunera más importante del Pacífico Oriental, con alrededor de 116 embarcaciones con una capacidad de 93 000 toneladas (NIRSA, 2022). Una de las empresas más importantes en esta industria, la cual posee la flota pesquera más grande del Ecuador y que se dedica a la captura y procesamiento de especies marinas en el año 2020, exportó 29,500 toneladas de atún a países como Alemania, Reino Unido, España, Francia, Perú y Argentina (NIRSA, 2022).

Por lo expuesto anteriormente, es importante realizar estudios constantes y cuantificar la cantidad de Hg en las fuentes de exposición potenciales para los seres humanos tales, como lo es el atún enlatado.

Para la cuantificación del Hg en este tipo alimentos existen varias técnicas como espectrometría por absorción atómica (AAS, por sus siglas en inglés), sin embargo, con el paso del tiempo la espectrometría de fluorescencia atómica (AFS, por sus siglas en inglés) se ha convertido en una de las herramientas analíticas más importantes para el análisis de oligoelementos (Bustamante et al., 2021), ya que combina las técnicas de absorción y emisión atómica. Además, permite la determinación de concentraciones muy bajas del analito por lo que es ideal para elementos como Hg.

Esta técnica acoplada a la técnica de generación de vapor frío (CV, por sus siglas en inglés) para la determinación de Hg es de instrumentación simple, posee límites de detección ultra bajos, alta sensibilidad, alta selectividad y los análisis tienen un costo bajo (Bustamante et al., 2021).

En el presente trabajo se cuantificará el Hg total (HgT) en atunes enlatados en agua seleccionados de distintos supermercados, tanto del sector norte como del sector sur del Distrito Metropolitano de Quito, con el fin de verificar si la cantidad de Hg en estas muestras cumple con las normativas Codex *alimentarius*, FDA 2001, y con la norma ecuatoriana NTE INEN 184:2013. La cuantificación se llevó a cabo por espectroscopía de fluorescencia atómica acoplada a la generación de vapor frío (CV-AFS, por sus siglas en inglés), técnica que cuenta con las especificaciones ideales para obtener resultados confiables (Bustamante et al., 2021).

OBJETIVOS

Objetivo general

Cuantificar el contenido de mercurio total en atún enlatado en agua, seleccionado de los supermercados del sector norte y sur del Distrito Metropolitano de Quito por espectroscopia de fluorescencia atómica para evaluar si cumplen con los límites permisibles indicados en las distintas normas establecidas del Ecuador para ello.

Objetivos específicos

Diseñar un plan de muestreo para la recolección de atún enlatado en agua de mayor demanda en el sector norte y sur del Distrito Metropolitano de Quito.

Cuantificar la concentración de Hg en muestras de atún enlatado seleccionadas, mediante espectroscopia de fluorescencia atómica.

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

METODOLOGÍA

Materiales y equipos

Los equipos utilizados para la cuantificación de HgT fue un espectrofotómetro Mercur Plus, de marca Analytik Jena, Microondas CEM MARS 6.

Se utilizó reactivos como el cloruro de estaño (II) dihidratado (SnCl_2 , marca Sigma-Aldrich), ácido clorhídrico (HCl, marca PHARMCO), Argón de grado 5,0, Material de Referencia Certificado, ácido nítrico (HNO_3 , marca Fisher Chemical), peróxido de

hidrógeno (H_2O_2 , marca Fisher Chemical, ácido perclórico (HClO_4 , marca BDH Chemicals).

Muestreo

Se seleccionaron tres marcas de atún enlatado en agua, comercializadas en el sector norte y sector sur del Distrito Metropolitano de Quito, los cuales se denominaron Marca A, Marca B y Marca C, de acuerdo con el porcentaje de comercialización de 28 %, 9 % y 58 % (Alcoser, 2022), respectivamente. Las muestras se tomaron por medio de un muestreo aleatorio simple.

Se analizaron un número de diez muestras que se extrajeron al azar de cada marca, cinco del sector norte y cinco del sector sur. Es importante recalcar que cada lata de atún tiene diferente código de lote.

Tratamiento de la muestra

Para llevar a cabo el tratamiento de la muestra, primero, se drenó cada lata de atún para retirar toda el agua y se reservó. Se pesó las cajas Petri, en cada caja se colocó un aproximado de 13 g de muestra y se pesaron para diferenciar el peso total entre la caja y la muestra. Las cajas Petri que ya contenían las muestras se llevaron a un liofilizador por 37 horas; pasado ese tiempo se volvieron a pesar las cajas con la muestra liofilizada para obtener el porcentaje de humedad.

Para el análisis de muestras en la técnica CV-AFS, se realizó una digestión ácida asistida por microondas, de acuerdo con lo reportado por Yáñez et al. (2020). Se pesaron directamente en los viales de microondas de alta presión: 0,06 a 0,1 g de muestra de la Marca A, 0,1 g de muestra de la Marca B y 0,6 a 0,8 g de muestra de la Marca C. Una vez pesadas las muestras, en cada vial se añadió 1 mL de HNO_3 , 1 mL de H_2O_2 y 1 mL de HClO_4 y se dejó reaccionar por 10 minutos. Luego, se procedió a cerrar los viales y se los

colocó en las chaquetas correspondientes de digestión de alta presión del horno microondas. El mismo procedimiento se lo realizó con el Material de Referencia Certificado (MRC) y el blanco, para cada lote de digestión. En la Tabla 1, se resumen las condiciones utilizadas para la digestión. Una vez finalizada la digestión, se dejaron enfriar los viales hasta que se encuentren a 20°C, aproximadamente.

La muestra digestada se filtró en balones de 50 mL y se aforó con agua destilada, añadiendo 1 mL de ácido clorhídrico concentrado y se lo dejó reposar durante la noche.

Tabla 1. Condiciones utilizadas para el método de digestión ácida por microondas (Yáñez et al.,2020).

Reactivos para digestión	Temperatura (°C)	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

Cuantificación de mercurio total mediante la técnica de espectrometría de fluorescencia atómica acoplado a vapor frío

El espectrofotómetro MercurPlus, marca Analytik Jena para la cuantificación del HgT en las muestras digestadas, utiliza una solución de HCl al 2%, como solución ácida de reacción, solución de dilución, enjuague y como blanco, una solución de SnCl₂ dihidratado con HCl al 4 % como agente reductor (Hg²⁺ a Hg⁰) y gas Argón, como gas de arrastre debido a que es un gas inerte.

La cuantificación se llevó a cabo a través de una curva de calibración de estándares externos, diluidos directamente por el equipo a partir de una solución madre de mercurio de 50 µg/L. La curva de calibración obtenida fue de 0.5, 1, 2, 3, 4 y 5 µg/L. Obtenida la

curva de calibración, se analizaron las muestras por duplicado, para lo cual fueron colocadas en los viales para la inyección automática de estas.

RESULTADOS

En las Tablas 2, 3 y 4 se presenta los porcentajes de humedad que se obtuvo para cada muestra.

Tabla 2. Porcentaje de humedad de las muestras de la Marca A.

Marca A	Peso Muestra Húmeda (g)	Peso Muestra Seca (g)	Humedad (%)
1	13,0332	5,2958	73,8
2	13,5915	5,4178	74,4
3	13,3876	5,288	73,8
4	13,103	5,5195	74,9
5	13,8089	5,4607	74,6
6	13,0255	5,605	75,3
7	13,1389	5,726	75,8
8	13,2443	5,6852	75,6
9	13,2544	5,5442	75,0
10	13,0272	5,6132	75,3
Promedio	-	-	74,8
DS	-	-	0,7

Tabla 3. Porcentaje de humedad de las muestras de la Marca B.

Marca B	Peso Muestra Húmeda (g)	Peso Muestra Seca (g)	% Humedad
1	13,4345	5,3312	74,0
2	13,3237	5,2394	73,5
3	13,0295	4,9253	71,8
4	13,0734	4,9381	71,9
5	13,1044	5,3424	74,0
6	13,0096	5,2663	73,7
7	13,1704	5,356	74,1
8	13,2878	5,074	72,7
9	13,0175	5,2231	73,4
10	13,0572	5,2412	73,5
Promedio	-	-	73,3
DS	-	-	0,8

Tabla 4. Porcentaje de humedad de las muestras de la Marca C.

Marca C	Peso Muestra Húmeda (g)	Peso Muestra Seca (g)	% Humedad
1	13,0125	5,2822	73,7
2	13,026	5,1078	72,8
3	13,0204	5,2532	73,6
4	13,024	5,4353	74,5
5	13,128	5,1414	73,0
6	13,0703	5,3234	73,9
7	13,2138	5,5209	74,9
8	13,0397	5,4683	74,6
9	13,4748	5,7052	75,7
10	13,0705	5,5196	74,9
Promedio	-	-	74,2
DS	-	-	0,9

Para determinar la concentración de Hg, se construyeron nueve curvas de calibración, debido a que fueron 9 días que se realizaron los análisis.

Tabla 5. Datos para la curva de calibración obtenida por el promedio de las nueve curvas, mediante el equipo MercurPlus.

Nombre	Concentración (µg/L)	Media Intensidad Pico	Desviación estándar	%CV
Cal-Zero	0,000	0,0023	0,0014	63,3
Cal-Std1	0,500	0,0835	0,0106	12,7
Cal-Std2	1,000	0,1702	0,0164	9,6
Cal-Std3	2,000	0,3469	0,0265	7,7
Cal-Std4	3,000	0,5203	0,0372	7,2
Cal-Std5	4,000	0,7050	0,0475	6,7

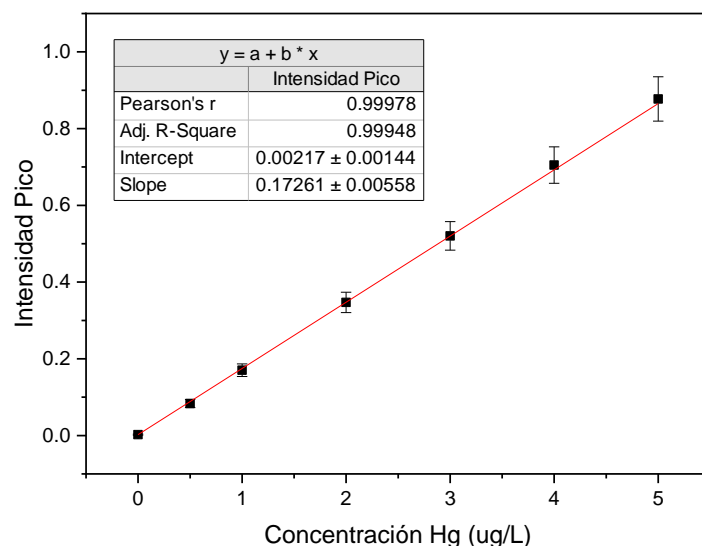


Figura 1. Curva de calibración obtenida mediante el equipo MercurPlus.

Antes de realizar los análisis de las muestras, se leyó un control y el material de referencia por cada lote de muestras, para verificar la exactitud de las mediciones, obteniendo los resultados presentados en la Tabla 6.

Tabla 6. Concentraciones del blanco y del MRC expresadas en [$\mu\text{g/L}$].

Día de lectura	[Blanco] ($\mu\text{g/L}$)	Peso MRC (g)	[MRC] ($\mu\text{g/L}$)	%R
1	0,2691	0,0555	5,007	100,2
2	0,3830	0,043	3,904	96,1
3	0,2951	0,0407	3,653	96,8
4	0,2417	0,0405	3,966	107,9
5	0,2508	0,0429	4,006	102,7
6	0,3050	0,0447	4,853	119,4
7	0,3474	0,0482	4,576	103,0
8	0,2982	0,0449	4,303	104,7
9	0,2472	0,0429	4,256	109,7
Promedio	-	-	-	104,5
DS	-	-	-	0,07

Los resultados obtenidos son altamente confiables, ya que la precisión y exactitud obtenidas están en los límites permitidos por la AOAC, Tabla 7.

Tabla 7. Límites permitidos por la AOAC (“AOAC SMPR 2012.007: Standard Method Performance Requirements for Determination of Heavy Metals in a Variety of Foods and Beverages,” 2013).

Concentración (mg/kg)	Precisión		Veracidad
	Repetibilidad (%)	Reproducibilidad (%)	Porcentaje de recuperación (%)
10	15	32	60-115

Las Tablas 8, 9 y 10, indican la concentración de HgT que se logró cuantificar mediante la técnica CV-AFS.

Tabla 8. Concentración de Hg [mg/kg], de las muestras de la marca A.

Marca A	Media [Hg] peso húmedo (µg/kg)	Desviación estándar	%CV	[Hg] (mg/kg)
1	284,230	1,439	0,5	0,284
2	467,782	25,427	5,4	0,468
3	1981,896	24,026	6,3	1,982
4	213,590	1,541	0,7	0,214
5	123,753	9,407	7,6	0,124
6	243,736	17,591	7,2	0,244
7	277,702	5,932	2,1	0,278
8	140,018	15,887	11,3	0,140
9	290,372	32,431	11,2	0,290
10	238,907	14,215	6,0	0,239
Promedio	426,199	24,790	5,83	0,426
DS	-	-	-	0.555

Tabla 9. Concentración de Hg [mg/kg], de las muestras de la marca B.

Marca B	Media [Hg] peso húmedo (µg/kg)	Desviación estándar	%CV	[Hg] (mg/kg)
1	43,298	0,669	1,6	0,043
2	258,640	2,139	0,8	0,259
3	190,428	3,568	2,9	0,190
4	123,385	4,347	3,5	0,123
5	332,175	25,508	7,7	0,332
6	58,297	1,261	2,2	0,058
7	65,307	1,235	1,9	0,065
8	107,659	3,594	3,3	0,108
9	365,902	10,397	2,8	0,366
10	134,165	4,907	3,7	0,134

Promedio	167,926	5,766	3.08	0,168
DS	-	-	-	0,115

Tabla 10. Concentración de Hg [mg/kg], de las muestras de la marca C.

Marca C	Media [Hg] peso húmedo (□g/kg)	Desviación estándar	%CV	[Hg] (mg/kg)
1	60,223	0,447	0,7	0,060
2	84,647	2,323	2,7	0,085
3	202,662	2,244	1,1	0,203
4	235,724	4,007	1,7	0,236
5	248,809	6,830	2,7	0,249
6	110,161	8,430	7,7	0,110
7	341,046	18,162	5,3	0,341
8	778,027	3,123	0,4	0,778
9	199,340	6,001	3,0	0,199
10	272,450	1,286	0,5	0,272
Promedio	253,309	5,285	2,590	0,253
DS	-	-	-	0.204

DISCUSIÓN

El primer paso para determinar la concentración total de Hg en las muestras de atún enlatado en agua es realizar un proceso de liofilización para obtener el porcentaje de humedad, el cual indica qué cantidad de agua perdió la muestra y así obtener solo la carne del atún de la cual se determinará la concentración de Hg. En este caso, la marca que mayor porcentaje de humedad presentó fue la A teniendo un valor de 74,8 %, mientras que la marca B fue la del menor porcentaje con un valor de 73,3 %, Tablas 8 y 9.

Las curvas de calibración se utilizaron para comprobar que el equipo de medición estuviera trabajando correctamente, además de calibrarlo químicamente (Zapata, 2020). La viabilidad de la utilidad de una curva de calibración está establecida por el valor del cuadrado del coeficiente de correlación lineal (r^2), el cual debe tener un valor superior a

0,99 (Rui & Boqué, 2003; Word Press, 2012). La curva obtenida, Figura 1, tiene un r^2 de 0,9999, por lo que el método es viable para la cuantificación de HgT.

El control que se utilizó fue un material certificado con el código IAEA-436A, el cual cuenta con una concentración conocida y certificada de 4,26 mg/kg de Hg en carne de atún. Se obtuvo un promedio de 104,5 % de recuperación, Tabla 7, lo cual indica que el método utilizado tiene exactitud aceptable.

Debido a que el atún enlatado es uno de los productos de consumo masivo en Ecuador y en el mundo, es importante tener un control acerca de la cantidad de Hg que este pescado contenga. En Ecuador la norma que rige el límite de Hg en atún enlatado es la INEN 184:2013. Internacionalmente existen algunas normas que rigen este límite, algunas de ellas son la Codex *alimentarius* y la norma FDA 2001. Cada una presenta un límite de mercurio permisible, los cuales están reportados en la Tabla 11.

Tabla 11. Límites permisibles de mercurio total (FAO, 2019; INEN, 2013; Vilaña, 2019)

INEN 184:2013	Codex <i>alimentarius</i> (FAO)	FDA 2001
(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
1	0,1	1

Los resultados reportados en las Tablas 8, 9 y 10, indican variabilidad de la concentración de Hg entre las marcas. Esto puede ser resultado del tipo de atún que utiliza cada empresa para elaborar su producto, ya que en Ecuador se capturan las especies atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*), atún ojo grande (*Thunnus obesus*) y listados o bonitos (*Katsuwonus pelamis*), específicamente para los productos de atún en lomos y conservados (Ministerio de Comercio Exterior, 2017). Otro de los factores para que exista variabilidad en los resultados es la forma física del pescado y su procedencia, debido a

que el mercurio no se almacena uniformemente en la carne de los atunes (Peterson et al., 1973).

Comparando los resultados de concentración de HgT obtenidos para cada marca comercial, Tablas 8, 9 y 10, la muestra A.3 excede el límite permisible con las normas, con un contenido de HgT de 1,982 mg/kg. Sin embargo, el promedio de las concentraciones de HgT para esta marca con un 28 % de comercialización, cumplen con las normas INEN 184:2013 y FDA 2001, pero no con la norma *Codex alimentarius* con un valor de 0,426 mg/kg.

Para la marca B con 9 % de comercialización, cada muestra cumplió con los límites de dos normas, la INEN 184:2013 y la FDA 2001, sin embargo, 7 de las 10 muestras no cumplen con el límite de la *Codex alimentarius*, contienen concentraciones mayores a 0,1 mg/kg; lo cual indica que los atunes utilizados en los 7 diferentes lotes tienen alta presencia de Hg. Iguales resultados, se obtuvo con el promedio de las concentraciones de Hg para esta marca.

Las muestras de la marca C, con 58 % de comercialización, si cumplen con los límites de concentración de Hg establecidos por las normas INEN 184:2013 y FDA 2001, sin embargo, 8 de las 10 muestras sobrepasan con el límite de la norma *Codex alimentarius*, al igual que el promedio de las concentraciones de esta marca. Por lo que, 8 diferentes lotes de la marca C fueron realizados con materia prima con alta concentración de Hg.

En las Tablas 12, 13 y 14 se comparan los resultados con los obtenidos por Pamela Alcoser, en mayo de 2022, realizado en iguales marcas del alimento, condiciones y mismo equipo, variando únicamente el lugar de recolección de las muestras. Como se puede observar en las Tablas, los valores de concentración de HgT de las muestras de marcas A,

B y C recolectadas en Rumiñahui y en el Distrito Metropolitano de Quito son bastante similares. Mediante un estudio ANOVA (Anexos, Figura 11), se comprobó que no existe diferencias significativas entre los dos estudios.

Tabla 12. Comparación de las concentraciones y % CV obtenidas de la marca A de ambos estudios.

Distrito Metropolitano de Quito			Rumiñahui		
Marca A	[Hg] (mg/kg)	% CV	Marca A	[Hg] (mg/kg)	% CV
1	0,284	0,5	1	0,409	0,31
2	0,468	5,4	2	0,406	3,42
3	1,982	6,3	3	0,633	1,05
4	0,214	0,7	4	0,999	2,65
5	0,124	7,6	5	0,248	2,75
6	0,244	7,2	6	0,316	5,92
7	0,278	2,1	7	0,254	8,48
8	0,140	11,3	8	0,208	1,61
9	0,290	11,2	9	0,246	6,54
10	0,239	6,0	19	0,202	3,93
Promedio	0,426	-	-	0,392	-

Tabla 13. Comparación de las concentraciones y %CV obtenidas de la marca B de ambos estudios.

Distrito Metropolitano de Quito			Rumiñahui		
Marca B	[Hg] (mg/kg)	%CV	Marca B	[Hg] (mg/kg)	%CV
1	0,043	1,6	1	0,034	1,5
2	0,259	0,8	2	0,210	0,4
3	0,190	2,9	3	0,057	1,5
4	0,123	3,5	4	0,101	7,4
5	0,332	7,7	5	0,365	1,1
6	0,058	2,2	6	0,021	7,4
7	0,065	1,9	7	0,076	5,9
8	0,108	3,3	8	0,018	5,1
9	0,366	2,8	9	0,109	0,5
10	0,134	3,7	10	0,069	0,2
Promedio	0,168	-	-	0,106	-

Tabla 14. Comparación de las concentraciones y %CV obtenidas de la marca C de ambos estudios.

Distrito Metropolitano de Quito			Rumiñahui		
Marca C	[Hg] (mg/kg)	%CV	Marca C	[Hg] (mg/kg)	%CV
1	0,060	0,7	1	0,684	0,8
2	0,085	2,7	2	0,044	1,7
3	0,203	1,1	3	0,114	1,9
4	0,236	1,7	4	0,234	8,7
5	0,249	2,7	5	0,073	0,5
6	0,110	7,7	6	0,689	1,8
7	0,341	5,3	7	0,121	4,5
8	0,778	0,4	8	0,086	3,3
9	0,199	3,0	9	0,198	2,3
10	0,272	0,5	10	0,134	6,5
Promedio	0,253	-	-	0,237	-

CONCLUSIONES

Se logró cuantificar la concentración de HgT en muestras de las diferentes marcas mediante la técnica de espectrometría de fluorescencia atómica acoplado a vapor frío. En promedio, las muestras analizadas de este producto alimenticio cumplen con las normas que rigen el límite de HgT en atunes enlatados en agua (NTE INEN 184:2013 y FDA 2001), de 1 mg/kg; sin embargo, no cumplen la norma *Codex alimentarius* de la FAO, la cual indica que la concentración máxima de mercurio permisible en este tipo de muestra de alimento es de 0,1 mg/kg.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcoser, P. (2022). *Determinación De Mercurio En Muestras De Atún En Lata Por Espectroscopia de Fluorescencia Atómica* [Escuela de Ciencias Químicas]. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- AOAC SMPR 2012.007: Standard Method Performance Requirements for Determination of Heavy Metals in a Variety of Foods and Beverages. (2013). *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, 96(4), 704–704. <https://doi.org/10.5740/jaoac.int.2012.007>
- Bustamante, L., Fernandez, L., & Cueva T., G. (2021). DETERMINACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN TEJIDO MUSCULAR DE PARGO (LUTJANUS COLORADO), MEDIANTE LA TÉCNICA DE VAPOR FRÍO ACOPLADO A ESPECTROFOTOMETRÍA DE FLUORESCENCIA ATÓMICA. *InfoANALÍTICA*, 9(1), 151–176. <https://doi.org/10.26807/ia.v9i1.201>
- Elika. (2022, April 21). *Mercurio*. Seguridad Alimentaria. <https://seguridadalimentaria.elika.eu/fichas-de-peligros/hg-mercurio/>
- EPA. (2022, July 14). *Efectos en la salud por la exposición al mercurio*. Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-en-la-salud-por-la-exposicion-al-mercurio>
- Equipar. (2019, November 22). *¿Por qué y cómo cuantificamos el Mercurio?* Equipar. <https://www.equipar.com.mx/por-que-y-como-cuantificamos-el-mercurio/>
- FAO. (2019). *NORMA GENERAL DEL CODEX PARA LOS CONTAMINANTES Y LAS TOXINAS PRESENTES EN LOS ALIMENTOS Y PIENSOS*. CODEX ALIMENTARIUS. https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B193-1995%252FCXS_193s.pdf
- INEN. (2013, January). *NTE INEN 184:2013 ATÚN Y BONITO EN CONSERVA. REQUISITOS*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Ministerio de Comercio Exterior. (2017, August). *Informe Sobre El Sector Atunero Ecuatoriano*. Ministerio de Comercio Exterior. <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2019/06/Reporte-del-sector-atunero.pdf>
- NIRSA. (2022, July 14). *EL ATÚN, UNO DE LOS PRODUCTOS DEL MAR ECUATORIANO MÁS COTIZADOS EN EL MERCADO INTERNACIONAL*. NIRSA.
- Peterson, C., Klawe, W., & Sharp, G. (1973). *MERCURY IN TUNAS: A REVIEW*. Fishery Bulletin - NOAA Fisheries. <https://spo.nmfs.noaa.gov/sites/default/files/pdf-content/1973/713/peterson.pdf>
- Raimann, X., Rodríguez O, L., Chávez, P., & Torrejón, C. (2014). Mercurio en pescados y su importancia en la salud. *Revista Médica de Chile*, 142(9), 1174–1180. <https://doi.org/10.4067/S0034-98872014000900012>

- Rui, J., & Boqué, R. (2003). *CALIBRACIÓN LINEAL*. Universitat Rovira i Virgili. <http://www.quimica.urv.cat/quimio/general/callin.pdf>
- Vilaña, L. (2019). *Determinación del contenido de mercurio en atún en conserva* [Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/19863/1/T-UCE-0008-CQU-185.pdf>
- Word Press. (2012, February). *PRACTICA No.2: Ley de Beer-Lambert II. Curvas de Calibración y Método Estadístico de Mínimos Cuadrados*. Word Press. <https://sisoyyomismo.files.wordpress.com/2012/02/practica-2-instrumental-qb.pdf>
- Zapata, F. (2020, June 9). *Curva de calibración: para qué sirve, cómo hacerla, ejemplos*. Lifeder. <https://www.lifeder.com/curva-de-calibracion/>

ANEXOS

Tabla 15. Datos de las muestras de la marca A con sus réplicas (R).

MARCA A							
Muestra	Peso muestra (g)	Lectura equipo (µg/L)	Blanco (µg/L)	[Hg] peso seco (µg/kg)	[Hg] peso húmedo (µg/kg)	Media	Desviación estándar
1	0,1149	2,772	0,2691	1089,164	285,248	284,230	1,439
1R	0,1185	2,832	0,2691	1081,392	283,213		
2	0,0634	2,789	0,3830	1897,516	485,762	467,782	25,427
2R	0,0819	3,261	0,3830	1757,051	449,803		
3	0,0576	4,928	0,3830	7890,712	2069,596	1981,896	24,026
3R	0,0611	2,148	0,3830	7221,972	1894,197		
4	0,128	2,434	0,2691	845,664	212,500	213,590	1,541
4R	0,1037	2,041	0,2691	854,339	214,680		
5	0,1362	1,525	0,2691	461,050	117,101	123,753	9,407
5R	0,1184	1,514	0,2982	513,429	130,405		
6	0,0735	1,757	0,3830	934,728	231,297	243,736	17,591
6R	0,0738	1,911	0,3830	1035,264	256,175		
7	0,0632	1,854	0,3830	1163,805	281,897	277,702	5,932
7R	0,0635	1,817	0,3830	1129,173	273,508		
8	0,0682	1,103	0,3830	527,896	128,784	140,018	15,887
8R	0,0639	1,034	0,2417	619,992	151,252		
9	0,0615	1,610	0,2951	1069,065	267,440	290,372	32,431
9R	0,0614	1,833	0,2951	1252,402	313,304		
10	0,0743	1,618	0,2417	926,211	228,855	238,907	14,215
10R	0,0723	1,752	0,2951	1007,573	248,958		

Tabla 16. Datos de las muestras de la marca B con sus réplicas (R).

MARCA B							
Muestra	Peso muestra (g)	Lectura equipo (µg/L)	Blanco (µg/L)	[Hg] peso seco (µg/kg)	[Hg] peso húmedo (µg/kg)	Media	Desviación estándar
1	0,1915	0,881	0,251	164,530	42,804	43,298	0,669
1R	0,1987	0,920	0,251	168,332	43,793		
2	0,1023	2,229	0,242	971,334	257,127	258,640	2,139
2R	0,1092	2,388	0,242	982,761	260,152		
3	0,1904	2,860	0,251	685,202	192,951	190,428	3,568
3R	0,1937	2,890	0,305	667,282	187,905		
4	0,1746	1,823	0,251	450,243	126,459	123,385	4,347
4R	0,175	1,750	0,251	428,357	120,311		
5	0,1767	4,527	0,251	1210,031	314,138	332,175	25,508
5R	0,1744	4,956	0,251	1348,982	350,212		
6	0,1746	1,083	0,298	224,742	59,189	58,297	1,261
6R	0,1736	1,055	0,298	217,972	57,406		
7	0,168	1,141	0,305	248,824	64,434	65,307	1,235
7R	0,1665	1,156	0,305	255,571	66,181		
8	0,1688	1,666	0,305	403,155	110,200	107,659	3,594
8R	0,1663	1,584	0,305	384,561	105,118		
9	0,2327	3,447	0,305	1350,258	358,550	365,902	10,397
9R	0,2246	3,462	0,305	1405,632	373,254		
10	0,1642	2,013	0,305	520,113	137,635	134,165	4,907
10R	0,1632	1,917	0,305	493,888	130,695		

Tabla 17. Datos de las muestras de la marca C con sus réplicas (R).

MARCA C							
Muestra	Peso muestra (g)	Lectura equipo (µg/L)	Blanco (µg/L)	[Hg] peso seco (µg/kg)	[Hg] peso húmedo (µg/kg)	Media	Desviación estándar
1	0,0822	0,726	0,3474	230,566	60,540	60,223	0,447
1R	0,0816	0,720	0,3474	228,156	59,907		
2	0,0849	0,866	0,3474	305,683	83,004	84,647	2,323
2R	0,0828	0,874	0,3474	317,784	86,290		
3	0,0882	0,826	0,3474	773,611	204,249	202,662	2,244
3R	0,0869	0,811	0,3474	761,594	201,076		
4	0,0878	1,712	0,3474	934,880	238,558	235,724	4,007
4R	0,0878	1,671	0,3474	912,671	232,890		
5	0,0873	1,989	0,3474	940,235	253,639	248,809	6,830
5R	0,0886	1,950	0,3474	904,430	243,980		
6	0,0848	0,977	0,2982	399,941	104,200	110,161	8,430
6R	0,0849	1,055	0,2982	445,701	116,122		
7	0,0822	2,446	0,2982	1306,448	328,203	341,046	18,162
7R	0,0817	2,600	0,2982	1408,690	353,889		
8	0,0635	4,154	0,2472	3076,220	780,236	778,027	3,123
8R	0,0636	4,138	0,2472	3058,805	775,819		
9	0,0828	1,634	0,2472	837,440	203,584	199,340	6,001
9R	0,0831	1,581	0,2472	802,527	195,097		
10	0,0842	2,067	0,2472	1080,641	271,541	272,450	1,286
10R	0,0858	2,114	0,2472	1087,879	273,359		

Tabla 18. Valores de concentración de blancos digeridos.

Fecha de Digestión	Fecha de Análisis	x1 (µg/L)	x2 (µg/L)	Media
2/5/2023	3/5/2023	0,2642	0,274	0,2691
4/5/2023	5/5/2023	0,3692	0,3967	0,3830
9/5/2023	10/5/2023	0,3006	0,2895	0,2951
11/5/2023	12/5/2023	0,2467	0,2366	0,2417
17/5/2023	18/5/2023	0,2477	0,2538	0,2508
18/5/2023	19/5/2023	0,3037	0,3062	0,3050
22/5/2023	23/5/2023	0,3593	0,3354	0,3474
23/5/2023	24/5/2024	0,2955	0,3009	0,2982
24/5/2023	29/5/2023	0,2658	0,2286	0,2472

Tabla 19. Valores de concentración de MRC digeridos.

Fecha de Digestión	Fecha de Análisis	Peso (g)	Lectura equipo (µg/L)	Blanco (µg/L)	%R
2/5/2023	3/5/2023	0,0555	5,007	0,2691	100.2
4/5/2023	5/5/2023	0,043	3,904	0,3830	96.1
9/5/2023	10/5/2023	0,0407	3,653	0,2951	96.8
11/5/2023	12/5/2023	0,0405	3,966	0,2417	107.9
17/5/2023	18/5/2023	0,0429	4,006	0,2508	102.7
18/5/2023	19/5/2023	0,0447	4,853	0,3050	119.4
22/5/2023	23/5/2023	0,0482	4,576	0,3474	103.0
23/5/2023	24/5/2024	0,0449	4,303	0,2982	104.7
24/5/2023	29/5/2023	0,0429	4,256	0,2472	109.7
Promedio		-	-	-	104,5

Tabla 20. Datos para curva de calibración del día 03 de mayo de 2023.

Nombre	Concentración (µg/L)	Intensidad Pico
Cal-Zero	0	0,002401
Cal-Std1	0,5	0,07452
Cal-Std2	1	0,1676
Cal-Std3	2	0,3459
Cal-Std4	3	0,5082
Cal-Std5	4	0,686
Cal-Std6	5	0,8598

Figura 2. Curva de calibración del día 03 de mayo de 2023.

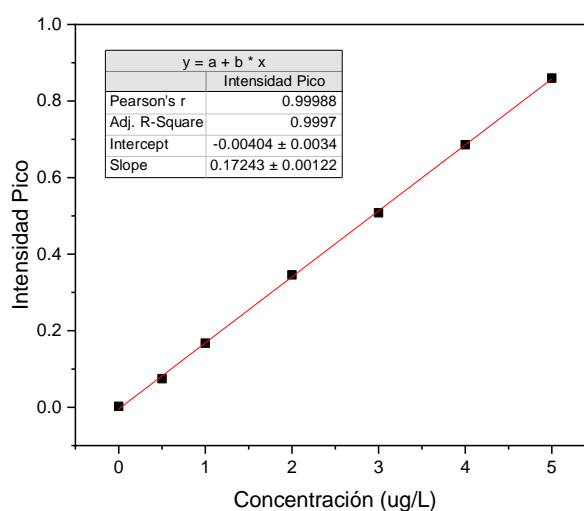


Tabla 21. Datos para curva de calibración del día 05 de mayo de 2023.

Nombre	Concentración (µg/L)	Intensidad Pico
Cal-Zero	0	0,001526
Cal-Std1	0,5	0,1016
Cal-Std2	1	0,2009
Cal-Std3	2	0,4023
Cal-Std4	3	0,5936
Cal-Std5	4	0,792
Cal-Std6	5	0,9793

Figura 3. Curva de calibración del día 05 de mayo de 2023.

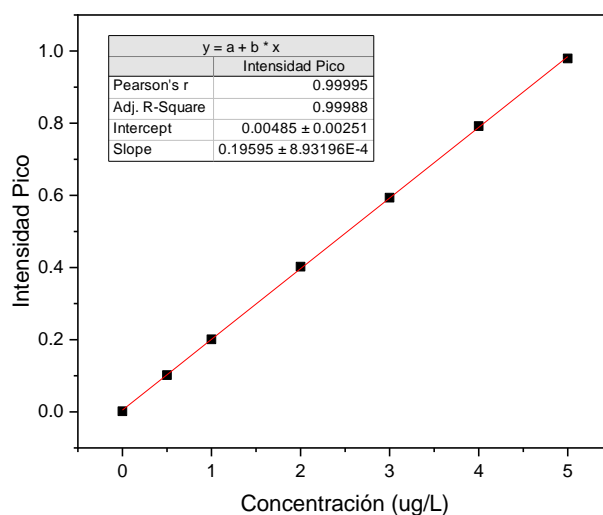


Tabla 22. Datos para curva de calibración del día 10 de mayo de 2023.

Nombre	Concentración (µg/L)	Intensidad Pico
Cal-Zero	0	0,001793
Cal-Std1	0,5	0,09585
Cal-Std2	1	0,1893
Cal-Std3	2	0,3644
Cal-Std4	3	0,5568
Cal-Std5	4	0,7607
Cal-Std6	5	0,9514

Figura 4. Curva de calibración del día 10 de mayo de 2023.

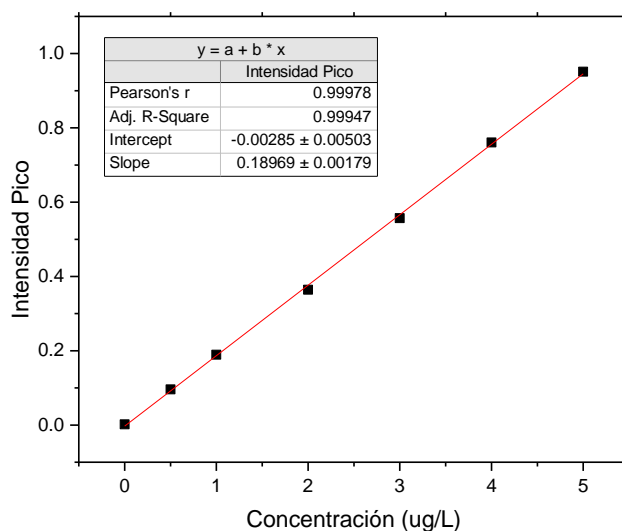


Tabla 23. Datos para curva de calibración del día 12 de mayo de 2023.

Nombre	Concentración (µg/L)	Intensidad Pico
Cal-Zero	0	0,001201
Cal-Std1	0,5	0,08941
Cal-Std2	1	0,1733
Cal-Std3	2	0,3465
Cal-Std4	3	0,515
Cal-Std5	4	0,6928
Cal-Std6	5	0,8622

Figura 5. Curva de calibración del día 12 de mayo de 2023.

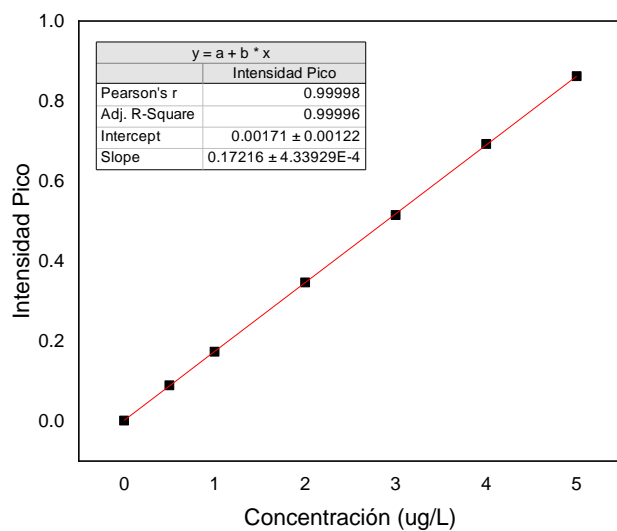


Tabla 24. Datos para curva de calibración del día 18 de mayo de 2023.

Nombre	Concentración (µg/L)	Intensidad Pico
Cal-Zero	0	0,001574
Cal-Std1	0,5	0,07836
Cal-Std2	1	0,1666
Cal-Std3	2	0,354
Cal-Std4	3	0,5273
Cal-Std5	4	0,7221
Cal-Std6	5	0,8945

Figura 6. Curva de calibración del día 18 de mayo de 2023.

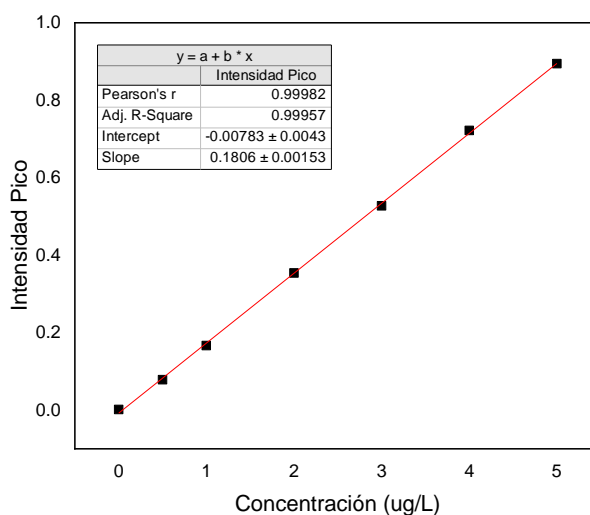


Tabla 25. Datos para curva de calibración del día 19 de mayo de 2023.

Nombre	Concentración (µg/L)	Intensidad Pico
Cal-Zero	0	0,001732
Cal-Std1	0,5	0,08593
Cal-Std2	1	0,1722
Cal-Std3	2	0,3491
Cal-Std4	3	0,5311
Cal-Std5	4	0,7154
Cal-Std6	5	0,8828

Figura 7. Curva de calibración del día 19 de mayo de 2023.

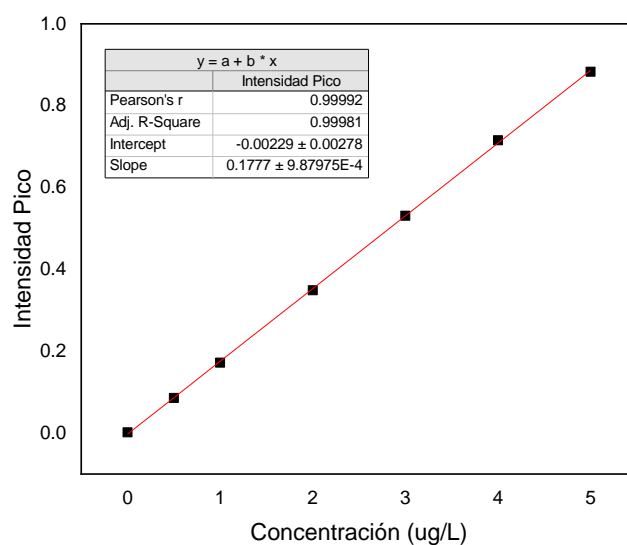


Tabla 26. Datos para curva de calibración del día 23 de mayo de 2023.

Nombre	Concentración (µg/L)	Intensidad Pico
Cal-Zero	0	0,00168
Cal-Std1	0,5	0,07033
Cal-Std2	1	0,1519
Cal-Std3	2	0,3187
Cal-Std4	3	0,4829
Cal-Std5	4	0,6519
Cal-Std6	5	0,8332

Figura 8. Curva de calibración del día 23 de mayo de 2023.

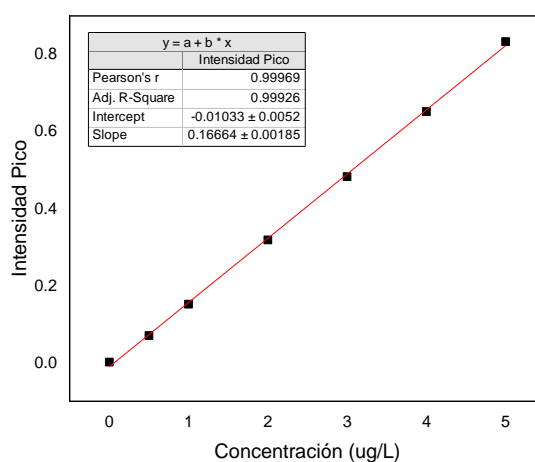


Tabla 27. Datos para curva de calibración del día 24 de mayo de 2023.

Nombre	Concentración (µg/L)	Intensidad Pico
Cal-Zero	0	0,00594
Cal-Std1	0,5	0,07347
Cal-Std2	1	0,1529
Cal-Std3	2	0,3224
Cal-Std4	3	0,4837
Cal-Std5	4	0,6619
Cal-Std6	5	0,8308

Figura 9. Curva de calibración del día 24 de mayo de 2023.

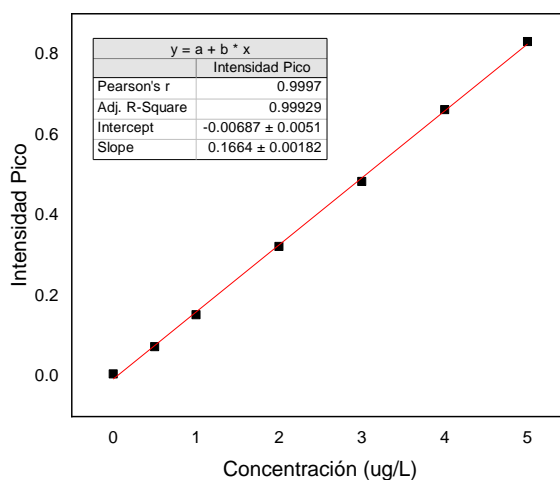
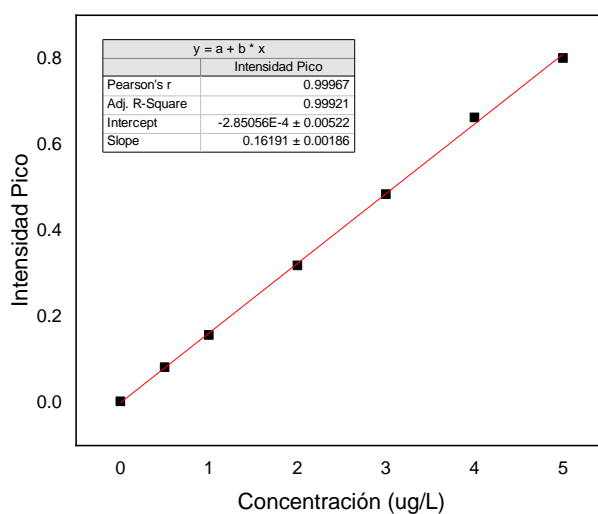


Tabla 28. Datos para curva de calibración del día 29 de mayo de 2023.

Nombre	Concentración (µg/L)	Intensidad Pico
Cal-Zero	0	0,002717
Cal-Std1	0,5	0,08197
Cal-Std2	1	0,157
Cal-Std3	2	0,3185
Cal-Std4	3	0,4843
Cal-Std5	4	0,6625
Cal-Std6	5	0,8007

Figura 10. Curva de calibración del día 29 de mayo de 2023



Marca A	[Hg] (mg/kg)	[Hg] (mg/kg)
1	0.284	0.409
2	0.468	0.406
3	1.982	0.633
4	0.214	0.999
5	0.124	0.248
6	0.244	0.316
7	0.278	0.254
8	0.14	0.208
9	0.29	0.246
10	0.239	0.202

Análisis de varianza de un factor				
RESUMEN				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
1	2	0.693	0.3465	0.007813
2	2	0.874	0.437	0.001922
3	2	1982.633	991.3165	1962908
4	2	1.213	0.6065	0.308113
5	2	0.372	0.186	0.007688
6	2	0.56	0.28	0.002592
7	2	0.532	0.266	0.000288
8	2	0.348	0.174	0.002312
9	2	0.536	0.268	0.000968
10	2	0.441	0.2205	0.000684

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de la variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1767771	9	196419.053	1.000653	0.494999614	3.020383
Dentro de los grupos	1962908	10	196290.793			
Total	3730679	19				

Marca B	[Hg] (mg/kg)	[Hg] (mg/kg)	Análisis de varianza de un factor				
1	0.043	0.034					
2	0.259	0.21					
3	0.19	0.057					
4	0.123	0.101					
5	0.332	0.365					
6	0.058	0.021					
7	0.065	0.076					
8	0.108	0.018					
9	0.366	0.109					
10	0.134	0.069					
			RESUMEN				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza			
1	2	0.077	0.0385	4.05E-05			
2	2	0.469	0.2345	0.001201			
3	2	0.247	0.1235	0.008845			
4	2	0.224	0.112	0.000242			
5	2	0.697	0.3485	0.000544			
6	2	0.079	0.0395	0.000685			
7	2	0.141	0.0705	6.05E-05			
8	2	0.126	0.063	0.00405			
9	2	0.475	0.2375	0.033025			
10	2	0.203	0.1015	0.002113			
			ANÁLISIS DE VARIANZA				
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F	
Entre grupo	0.191026	9	0.02122509	4.177838	0.017934197	3.020383	
Dentro de los grupos	0.050804	10	0.0050804				
Total	0.24183	19					

Marca C	[Hg] (mg/kg)	[Hg] (mg/kg)	Análisis de varianza de un factor				
1	0.06	0.684					
2	0.085	0.044					
3	0.203	0.114					
4	0.236	0.234					
5	0.249	0.073					
6	0.11	0.689					
7	0.341	0.121					
8	0.778	0.086					
9	0.199	0.198					
10	0.272	0.134					
			RESUMEN				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza			
1	2	0.744	0.372	0.194688			
2	2	0.129	0.0645	0.000841			
3	2	0.317	0.1585	0.003961			
4	2	0.47	0.235	2E-06			
5	2	0.322	0.161	0.015488			
6	2	0.799	0.3995	0.167621			
7	2	0.462	0.231	0.0242			
8	2	0.864	0.432	0.239432			
9	2	0.397	0.1985	5E-07			
10	2	0.406	0.203	0.009522			
			ANÁLISIS DE VARIANZA				
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F	
Entre grupo	0.252613	9	0.02806811	0.428028	0.891376226	3.020383	
Dentro de los grupos	0.655754	10	0.0655754				
Total	0.908367	19					

Figura 11. Análisis ANOVA