UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA

CARRERA DE ALIMENTOS

Tema: Análisis de la presencia de metales pesados en la concha negra (*Anadara tuberculosa*) expendida en los mercados de la ciudad de Ambato y su cumplimiento con los límites establecidos en la normativa alimentaria

---

Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, previo la obtención del Título de Ingeniera en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Autor: Marissa Antonella Gaibor Angulo

Tutor: Dr. Rodny David Peñafiel Ayala

Ambato-Ecuador

Febrero-2025

APROBACIÓN DEL TUTOR

Dr. Rodny David Peñafiel Ayala

CERTIFICA:

Que el presente Informe Final del Trabajo de Titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 20 de enero de 2025



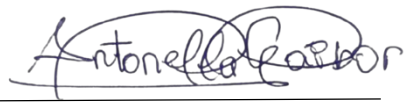
Dr. Rodny David Peñafiel Ayala

1712283520

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Marissa Antonella Gaibor Angulo, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniera en Alimentos son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas bibliográficas.



Marissa Antonella Gaibor Angulo

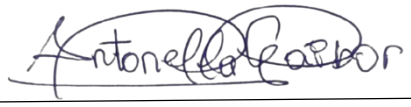
0250013885

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Informe Final del Trabajo de Titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Informe Final del Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



Marissa Antonella Gaibor Angulo

0250013885

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

Firmado electrónicamente por:
MANUEL ISRAEL GUANOQUIZA RIVERA

Presidente del Tribunal

Firmado electrónicamente por:
JACQUELINE DE LAS MERCEDES ORTIZ ESCOBAR

Dra. Jacqueline de las Mercedes Ortiz Escobar
1802171353

Firmado electrónicamente por:
LILIANA PATRICIA ACURIO ARCOS

Mg. Liliana Patricia Acurio Arcos
1804067088

Ambato, 30 enero de 2025

DEDICATORIA

Este logro se lo dedico a mis padres que gracias a su esfuerzo y dedicación han logrado ayudarme a salir adelante. Este logro académico es un reflejo del gran esfuerzo que han invertido para brindarme una educación sólida.

Esta tesis es el testimonio de su sacrificio y amor, y me llena de orgullo honrarlos de esta manera.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por permitirme llegar hasta aquí, a mis padres Marithza y Washington por brindarme todo el apoyo a lo largo de mi vida, a Miguel mi hermano por apoyarme, a mi novio Fernando por ser el apoyo durante todo este tiempo.

Quiero también agradecer a mi tutor al Dr. Rodny Peñafiel por guiarme durante el proceso de elaboración del proyecto de investigación.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR ..... **ii**
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN ..... **iii**
DERECHOS DE AUTOR ..... **iv**
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO ..... **v**
DEDICATORIA ..... **vi**
AGRADECIMIENTO ..... **vii**
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS ..... **viii**
ÍNDICE DE TABLAS ..... **x**
INDICE DE FIGURAS ..... **xi**
RESUMEN EJECUTIVO ..... **xii**
ABSTRACT ..... **xiii**
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO **1**
1.1. Antecedentes investigativos **1**
1.1.1. Planteamiento del problema y justificación 1
1.1.2. Concha negra (Anadara tuberculosa) 2
1.1.3. Concha negra en Ecuador 2
1.1.4. Importancia comercial de la concha negra 3
1.1.5. Comercialización de la concha negra en los mercados de la ciudad de Ambato 3
1.1.6. Moluscos como bioindicadores 4
1.1.7. Contaminación por metales pesados 4
1.1.8. Acumulación de metales pesados en la concha negra 5
1.1.9. Metales pesados en la salud humana 5
1.1.10. Método de detección de metales pesados 7
1.1.11. Absorción atómica con horno de grafito 7
1.1.12. Normativa de seguridad alimentaria y límites máximos de metales pesados en concha negra 7
1.1.13. Métodos estadísticos 8
1.1.14. Ingesta semanal tolerable 8
1.1.15. Concentración de los metales en las conchas 8
1.2. Objetivos **9**
1.2.1 Objetivo general 9
1.2.2 Objetivos específicos 9
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA **10**
2.1 Materiales **10**

2.1.1 Equipos de laboratorio 10
2.1.2 Instrumentos de laboratorio 11
2.1.4 Insumos de laboratorio 13
2.1.5 Materiales de escritorio 13
2.2. Métodos 14
2.2.1. Selección de los puntos de venta 14
2.2.2 Visita de campo 14
2.2.3. Tipo de muestreo realizado 15
2.2.4. Sistema de digestión 15
2.2.5. Determinación de metales por espectrofotometría de absorción atómica 16
2.2.6 Análisis estadísticos 17
2.2.7. Ingesta semanal tolerable 18
2.2.8 Contenido de humedad 18
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 19
3.1. Análisis y discusión de los resultados 19
3.1.1. Concentración de arsénico en muestras de concha negra (*Anadara tuberculosa*) 19
3.1.2 Concentración de níquel en muestras de concha negra (*Anadara tuberculosa*) 20
3.1.3 Concentración de plomo en muestras de concha negra (*Anadara tuberculosa*) 22
3.1.4 Concentración de cadmio en muestras de concha negra (*Anadara tuberculosa*) 24
3.1.6 Evaluación del promedio en relación con el cumplimiento a los límites máximos permitidos y la ingesta semanal tolerable 27
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 29
4.1 CONCLUSIONES 29
4.2 RECOMENDACIONES 29
MATERIALES DE REFERENCIA 30
ANEXOS…….. 32

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites máximos permisibles establecidos por la Comisión de la Comunidades Europeas en el reglamento (CE) No 1881/2006 ..... **7**

Tabla 2. *Límites máximos permisibles establecidos por la NTE Inen-CODEX*..... **8**

Tabla 3. *Equipos de Laboratorio* **10**

Tabla 4. *Instrumentos de laboratorio*.....**11**

Tabla 5. *Reactivos de laboratorio*..... **12**

Tabla 6. *Insumos de laboratorio* **13**

Tabla 7. *Materiales de escritorio* **13**

Tabla 8. *Estándares monoelementales (AccuStandar) de 1000 µg/L* **16**

Tabla 9. *Rango de la recta de calibración y límites de detección*..... **17**

Tabla 10. *Concentración de Arsénico en muestras de concha negra (Anadara ubeculosa) de los mercados (Mayorista y Simón Bolívar) de la ciudad de Ambato.*..... **19**

Tabla 11. *Concentración de Níquel en muestras de concha negra (Anadara Tubeculosa) de los mercados (Mayorista y Simón Bolívar) de la ciudad de Ambato.*..... **21**

Tabla 12. *Concentración de Plomo en muestras de concha negra (Anadara Tubeculosa) de los mercados (Mayorista y Simón Bolívar) de la ciudad de Ambato.*..... **23**

Tabla 13. *Concentración de Cadmio en muestras de concha negra (Anadara Tubeculosa) de los mercados (Mayorista y Simón Bolívar) de la ciudad de Ambato.*..... **24**

Tabla 14. *Concentración de Cromo en muestras de concha negra (Anadara Tubeculosa) de los mercados (Mayorista y Simón Bolívar) de la ciudad de Ambato.*..... **26**

Tabla 15. *Evaluación del promedio en relación al cumplimiento a los límites máximos permitidos en la medición de metales pesados de los mercados de Ambato.* **28**

Tabla 16. Evaluación del riesgo toxicológico …….27

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista exterior e interior de (Anadara tuberculosa……...**2**

Figura 2. Ubicación Geográfica de los mercados de la Ciudad de Ambato a muestrear. ..……14

Figura 3. Concentración de Arsénico en muestras de concha negra (Anadara Tuberculosa) de los mercados (Mayorista y Simón Bolívar) de la ciudad de Ambato. ..…. 20

Figura 4. Concentración de Níquel en muestras de concha negra (Anadara Tuberculosa) de los mercados (Mayorista y Simón Bolívar) de la ciudad de Ambato..... 22

Figura 5. *C*oncentración de Plomo en muestras de concha negra (Anadara Tuberculosa) de los mercados (Mayorista y Simón Bolívar) de la ciudad de Ambato. 23

Figura 6. Concentración de Cadmio en muestras de concha negra (Anadara Tuberculosa) de los mercados (Mayorista y Simón Bolívar) de la ciudad de Ambato. 25

Figura 7 *Concentración de Cromo en muestras de concha negra (Anadara Tuberculosa) de los mercados (Mayorista y Simón Bolívar) de la ciudad de Ambato.*..... 26

RESUMEN EJECUTIVO

La determinación de metales pesados en conchas negras (*Anadara tuberculosa*), llega hacer un recurso marino muy importante en ecosistemas costeros y para el consumo humano para evaluar los riesgos ambientales y de salud. Los metales pesados como el Arsénico (As), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), pueden llegar a acumularse en los tejidos blandos de esta especie, debido a que posee una capacidad filtradora ya que está expuesta a aguas contaminadas ya sean por actividades antropogénicas tales como la minería, agricultura, descargas industriales y urbanas. Para el análisis de metales pesados en conchas negras es necesario la recolección de muestras en áreas específicas, es de vital importancia que se identifiquen las zonas de expendio y de origen del producto por medio de entrevistas informales. Las muestras se deben preparar para la cuantificación de metales pesados mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito. Los resultados obtenidos tras la utilización de la técnica se comparan con las normativas internacionales como locales, las Comunidades Europeas y el CODEX, teniendo como evidencia que los límites de los metales pesados están por debajo de los límites establecidos por las normativas, sin embargo, no se descarta la presencia de estos metales. La evaluación del riesgo toxicológico permite la identificación y cuantificación de los peligros que están asociados a sustancias químicas, evaluando su impacto en la salud humana y medio ambiente, donde las muestras analizadas están bajo la dosis de referencia, mostrando que no representan un riesgo para la salud.

Palabras clave: Metales pesados, CODEX, FDA, Comunidades Europeas, Cadmio, Arsénico, Plomo, Cromo, Níquel

ABSTRACT

The determination of heavy metals in black shells (Anadara tuberculosa) makes them a very important marine resource in coastal ecosystems and for human consumption to assess environmental and health risks. Heavy metals such as Arsenic (As), Nickel (Ni), Lead (Pb), Cadmium (Cd), Chromium (Cr), can accumulate in the soft tissues of this species, because it has a filtering capacity since it is exposed to contaminated waters either by anthropogenic activities such as mining, agriculture and industrial and urban discharges. For the analysis of heavy metals in black shells, it is necessary to collect samples in specific areas. It is vitally important to identify the areas of sale and origin of the product through informal interviews with the sellers. The samples must be prepared for the quantification of heavy metals using the graphite furnace atomic absorption spectrophotometry technique. The results obtained after using the technique are compared with international and local regulations, such as those of the European Communities and the CODEX, with evidence that the limits of heavy metals obtained in the analysis are below the limits established by the regulations, however, the presence of these metals is not ruled out. The evaluation of the toxicological risk allows the identification and quantification of the dangers that are associated with chemical substances, evaluating their impact on human health and the environment by examining a danger in order to avoid or reduce it, where the samples analyzed are below the reference dose, showing that they do not represent a risk to health.

Keywords: Heavy metals, CODEX, FDA, European Communities, Cadmium, Arsenic, Lead, Chromium, Nickel

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

1.1.1. Planteamiento del problema y justificación

Los metales pesados son elementos tóxicos que han contaminado aguas y alimentos debido a su uso en condiciones antrópicas. Los metales no esenciales alteran las funciones metabólicas de dos formas principales. Primero, se acumulan y afectan las funciones normales de órganos y glándulas vitales, como el cerebro, el corazón, los riñones, los huesos y el hígado. En segundo lugar, estos iones metálicos reemplazan minerales nutricionales vitales, impidiendo las funciones biológicas **(Benavides et al., 2022).**

Dentro del medio acuático, existe la presencia de metales pesados como el mercurio, arsénico, cadmio, plomo y cobre, esto se debe a la liberación al medio ambiente, ya sea por fenómenos naturales o producto de actividades provocados por el ser humano, estos metales se adhieren a los sedimentos de las especies, los cuales al ser ingeridos provoca la bioacumulación de estos elementos en diferentes tejidos de las conchas, de esta forma hace que su consumo resulte perjudicial para la salud humana.

En los últimos años, se han llevado a cabo investigaciones que indican que el Golfo de Guayaquil es una de las zonas con mayor extracción de conchas para su venta, pero ha estado expuesto a la contaminación causada por actividades antropogénicas como la industria, la pesca y la urbanización, lo que afecta la salud de las personas. En febrero de 2023, **Vinces et al. (2024)** realizaron análisis de metales pesados como Zn, Cu, Cd, Ni, Cr y Pb en la concha negra (*Anadara tuberculosa*), encontrando niveles de Cd que superan los límites establecidos por la Unión Europea. Asimismo, el Cr en varias localidades del área excede tres veces el límite permitido, mientras que el Pb y el Ni se encuentran dentro de los límites, y el Zn se presenta en cantidades superiores a los límites permitidos en los tejidos de esta especie. En Esmeraldas, también se han realizado estudios sobre la especie *Anadara tuberculosa*, identificando metales pesados como Cd, Hg y Pb, los cuales se han demostrado estar dentro de los límites permitidos por la Unión Europea **(Cedeño & Zambrano, 2017).**

A partir de los antecedentes mencionados, ha surgido preocupación entre los organismos reguladores de alimentos del país, lo que ha llevado a realizar investigaciones que aseguren la presencia de alimentos libres de metales pesados. Dado el contexto geográfico para la obtención de muestras, se ha decidido analizar el producto en los mercados de la ciudad de Ambato. Así, la propuesta de investigación consiste en llevar a cabo un estudio para detectar metales pesados en la concha negra presente en los mercados de Ambato, comparando los resultados con la normativa vigente, dado que esta especie se utiliza ampliamente en la elaboración de productos de consumo diario.

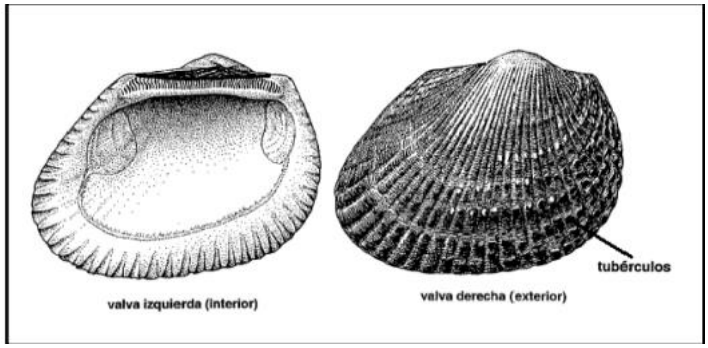
1.1.2. Concha negra (*Anadara tuberculosa*)

La concha negra *Anadara tuberculosa* es una es un tipo de molusco bivalvo, habitan en los manglares y zonas de estuario en áreas tropicales del Océano Pacífico, especialmente en países como Ecuador, Colombia, Perú, Panamá y México. Esta especie posee una concha equivalva, inequilateral, ovalada, gruesa bien sólida, con un contorno ovalado y moderadamente alargada se observa en la **Figura 1.** Su longitud varía entre 30 a 70 mm y el diámetro en un rango de 27 a 48 mm (alcanzando tallas de 110 mm).

Esta especie cuenta con 33 a 37 costillas radiales redondeadas y relativamente juntas; con el margen dorsal algo angulado en ambos extremos. Presenta nódulos o tubérculos sobre las costillas, especialmente sobre el margen anterior **(PRADO-CARPIO et al., 2021).** Esta especie cuenta con una humedad aproximadamente de 83,5%, esto va a depender del hábitat, la alimentación y el ciclo de reproducción del molusco.

El hábitat de esta especie son los sustratos fangosos (arcilloso y limo arcilloso), entre las enmarañadas raíces del manglar, por debajo de las raíces de *Rizophora magle*, entre 5 y 30 cm de profundidad y *A. similis* sobre fondos blandos de la zona sub litoral, entre 15 y 50 cm. de profundidad y en espacios abiertos **(Mora & Moreno, 2008).**

***Figura 1**. Vista exterior e interior de (Anadara tuberculosa)*



1.1.3. Concha negra en Ecuador

A nivel del Ecuador las zonas de manglar abracan aproximadamente 157.094,28 ha, mismo que posee una diversa variedad de flora y fauna, entre la diversidad que posee la zona del manglar consumida a nivel del Ecuador que es la concha negra*(Anadara tuberculosa)* **(Pernia et al., 2019)**

La extracción de concha en Ecuador es una pesquería ancestral de pequeña escala y acceso abierto, centrada en la especie de molusco bivalvo: *Anadara tuberculosa*. Esta práctica se desarrolla en manglares, principalmente en la Reserva Ecológica Manglares Cayapas-Mataje y el Estuario del Río Muisne en Esmeraldas, en el Estero de El Morro y Puná en Guayas, y en el Archipiélago de Jambelí en El Oro.

La extracción de concha ha sido una actividad constante para numerosos pescadores artesanales, con un registro de aproximadamente 2,000 concheros en 2006, quienes dependen de esta actividad tanto económicamente como socialmente. Esta práctica es igualmente importante para muchos pescadores artesanales en la costa del Pacífico Oriental **(Mora & Moreno, 2008).**

1.1.4. Importancia comercial de la concha negra

Los moluscos bivalvos representaron cerca del 6 % del comercio global de pescado y productos derivados, generando empleo tanto directa como indirectamente para muchas personas, principalmente de bajos recursos y con poca organización. Su captura en manglares de la zona costera se considera una actividad económica de subsistencia para comunidades de pescadores, quienes encuentran en la extracción, venta y preparación de la concha prieta una fuente de ingresos a nivel local **(Santana & Zambrano, 2022).**

1.1.5. Comercialización de la concha negra en los mercados de la ciudad de Ambato

Los mercados de Ambato son fundamentales para la economía local y regional, ofreciendo una amplia variedad de productos frescos, como frutas, verduras, flores, granos, carnes y mariscos. Además, en estos mercados se pueden encontrar textiles, artesanías y una amplia gama de artículos de uso cotidiano, lo que los convierte en un lugar esencial para residentes y visitantes.

En Ambato, los mercados son centros clave para el comercio de varios productos, incluidos los mariscos. Aunque es una ciudad andina y alejada de la costa, Ambato presenta una alta demanda de productos del mar, que llegan frescos gracias a su cercanía a las principales rutas de transporte **(Comité de turismo de Tungurahua, 2015).**

1.1.5.1. Mercado central de Ambato

El Mercado Central es uno de los más antiguos y representativos de Ambato, situado en el centro de la ciudad. Este mercado se destaca por su amplia variedad de productos, que incluyen frutas, verduras, carnes y mariscos. En lo que respecta a la venta de mariscos, el Mercado Central dispone de secciones especializadas donde se ofrecen pescados frescos, camarones, calamares, conchas y otros productos del mar. Estos productos provienen principalmente de las provincias costeras de Esmeraldas y Manabí, lo que garantiza su frescura y calidad **(Comité de turismo de Tungurahua, 2015).**

1.1.5.2. Mercado Simón Bolívar

El Mercado Simón Bolívar es otro de los mercados populares de Ambato. Aunque no es tan grande como el Mercado Central o el Mayorista, ofrece una buena variedad de productos alimenticios, incluidos mariscos. En este mercado, los consumidores pueden adquirir pescados frescos y mariscos en pequeñas cantidades, lo que es ideal para las compras diarias de los hogares ambateños. Al igual que en otros mercados, los productos del mar en el Mercado Simón Bolívar provienen de proveedores costeros y se venden tanto al por mayor como al por menor **(Comité de turismo de Tungurahua, 2015).**

1.1.6. Moluscos como bioindicadores

Los moluscos responden como organismos centinelas debido a su capacidad para poder bioacumular sustancias químicas como los metales pesados y compuestos orgánicos en sus tejidos. La tolerancia y adaptabilidad de los moluscos, especialmente de ciertos bivalvos, los han convertido en organismos ideales para monitorear contaminantes y evaluar la calidad de los ecosistemas. Los moluscos bivalvos consumidos por los humanos tienden a acumular en su organismo sustancias disueltas o en suspensión en el agua, ya que son filtradores, lo que permite utilizarlos como bioindicadores **(Santana & Zambrano, 2022).**

1.1.7. Contaminación por metales pesados

La contaminación por metales pesados es uno de los principales problemas ambientales actuales, debido a su persistencia en el entorno y su tendencia a bioacumularse en la cadena alimentaria, lo que representa un riesgo significativo para los seres vivos.

La peligrosidad de los metales pesados es mayor que la de otros tipos de metales al no ser química ni biológicamente degradables, una vez emitidos, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años **(Santana & Zambrano, 2022).**

La alta toxicidad de los metales pesados provoca un impacto preocupante en la salud, especialmente con una exposición prolongada o por bioacumulación. Según el tipo de metal o metaloide, pueden surgir afecciones que van desde daños en órganos vitales hasta la aparición de cáncer.

Los metales son persistentes, lo que significa que no pueden ser creados ni degradados, ya sea por procesos biológicos o actividades humanas. Una vez ingresan a los ecosistemas acuáticos, se transforman mediante procesos biogeoquímicos y se distribuyen entre distintas especies con diversas propiedades fisicoquímicas**. (Bose & Chakraborty, 2017).**

Existen un conjunto de metales pesados los cuales son los más conocidos por ocasionar graves problemas medioambientales para los ecosistemas entre ellos se destacan: el mercurio (Hg), el plomo (Pb), el cadmio (Cd) y el talio (Tl), así como el cobre (Cu), zinc (Zn) y cromo (Cr). Los metales pesados no presentan biodegradabilidad y están presentes en mayor o menor cantidad.

Polo Bravo & Sulca Quispe, (2019) mencionan que estos metales pesados cada día tienden a bioacumularse en concentraciones a un nivel mayor en el cuerpo humano, los cuales llegan a superar los límites máximos permisibles mismos que están establecidos a nivel mundial y por muchos países.

1.1.8. Acumulación de metales pesados en la concha negra

El hábitat sedimentario es importante para la bioacumulación de metales en bivalvos debido a que estos organismos son principalmente detritívoros, por lo que se alimentan de aquella materia orgánica que se deposita en la columna de sedimento, donde se asocian también a metales pesados.

Según **Recoba & Ramos, (2022)** la incorporación de metales a la concha se produce mediante procesos de adsorción, mientras que en los tejidos la acumulación realiza por procesos depurativos y antitóxicos. Por esta razón, este compartimiento posee ventajas para determinar niveles de metales.

1.1.9. Metales pesados en la salud humana

La exposición prolongada a través de la dieta a Pb, As, Cd, Ni y Cr en niños y adultos causa serios problemas de salud cuando se ingieren alimentos contaminados. A continuación, se detallan los efectos de estos metales en la salud humana:

1.1.9.1. Plomo

El plomo entra al organismo a través de la absorción intestinal por ingestión, a los pulmones mediante inhalación y también por la piel. Al ingresar, se transporta por la sangre hacia todos los órganos y tejidos, y puede acumularse en huesos, dientes, hígado, pulmones, riñones, cerebro y bazo. Las mayores concentraciones de plomo se encuentran en los riñones, especialmente en los túbulos proximales, y la exposición crónica puede provocar hipertensión. En cuanto a los efectos cardiovasculares, la exposición en niños podría afectar la función endotelial, lo cual se ha observado en pruebas de función endotelial de la arteria braquial. El plomo es absorbido más fácilmente en ayunas que cuando se ingiere con alimentos **(Quazi et al., 2004).**

1.1.9.2. Arsénico

La exposición humana al arsénico puede ocurrir mediante tres vías principales: por inhalación de aire, por ingestión de alimentos y agua, y por absorción dérmica.

La ingesta de grandes cantidades de arsénico suele causar síntomas entre 30 y 60 minutos después. La intoxicación aguda típicamente comienza con un sabor metálico, una sensación de ardor en los labios y dificultad para tragar. Pueden aparecer diversos síntomas gastrointestinales como dolor abdominal, cólicos, diarrea intensa, náuseas y vómitos severos, los cuales pueden derivar en hematemesis. Estos síntomas gastrointestinales frecuentemente provocan deshidratación y desequilibrio de electrolitos, lo que puede llevar a hipotensión e hipoxia. Tras los síntomas iniciales, puede haber fallos de varios órganos, afectando sobre todo los sistemas cardiovascular, renal y hepático, y ocasionando la muerte **(Medina-Pizzali et al., 2018).** El arsénico inorgánico está clasificado como carcinógeno para el ser humano, es más tóxico que el arsénico orgánico y sus formas trivalentes (As^{III}) son más tóxicas que en sus formas pentavalentes (As^{v}).

1.1.9.3. Cadmio

Consumir alimentos o agua con altos niveles de cadmio puede causar una fuerte irritación estomacal, provocando vómitos, diarrea y, en algunos casos, la muerte. La ingesta de menores cantidades de cadmio durante un tiempo prolongado puede llevar a su acumulación en los riñones, lo cual, al alcanzar niveles elevados, ocasionará daño renal **(García & Cruz, 2012).**

1.1.9.4. Níquel

La exposición al níquel puede causar problemas en la piel al entrar en contacto con agua contaminada, y la ingesta de grandes cantidades puede llevar a mareos tras la inhalación de gas de níquel, embolia pulmonar y fallos respiratorios. También puede provocar defectos de nacimiento, asma, bronquitis crónica, problemas cardíacos y reacciones alérgicas como erupciones cutáneas, especialmente por contacto con joyas. La contaminación por níquel se ha relacionado con varios tipos de cáncer, incluidos los de pulmón, nariz, laringe y próstata **(Rodríguez Heredia, 2017).**

1.1.9.5. Cromo

Los efectos en la salud incluyen reacciones alérgicas, erupciones en la piel, irritación nasal y sangrado tras la inhalación. También puede debilitar el sistema inmunológico, causar daños en riñones e hígado, problemas respiratorios, alteraciones genéticas, malestar estomacal, úlceras, cáncer de pulmón y, en casos graves, la muerte **(Rodríguez Heredia, 2017).** El estado de oxidación es la característica

principal para determinar la toxicidad del metal. El cromo en estado trivalente ($_{Cr}lll$) presenta una baja debido a su capacidad de absorción toxicidad, por otro lado, el cromo $_{(}{}^{Cr}lV$ es clasificado como posible carcinógeno para los seres humanos, los principales órganos afectados por su carcinogecidad son los pulmones y los senos nasales.

1.1.10. Método de detección de metales pesados

La espectrometría de absorción atómica permite identificar y analizar la concentración de la mayoría de los metales pesados. En este método se utilizan dos técnicas para convertir la muestra en átomos libres: el uso de una llama y el calentamiento electrotérmico en un horno de grafito **(Arjomandi & Shirkhanloo, 2019).**

1.1.11. Absorción atómica con horno de grafito

El principio fundamental de la espectrometría de absorción atómica con horno de grafito se desarrolla en tres etapas. Primero, se introduce una muestra en el horno de grafito, donde se seca a unos 110 °C. En la segunda etapa, la materia orgánica se convierte en CO_2 y H_2O al alcanzar temperaturas de hasta 1200 °C. En la fase final, la temperatura aumenta exponencialmente entre 2000 y 3000 °C, lo que permite que el metal se atomice y forme una nube de vapor atómico dentro de un tubo de grafito. El calentamiento debe adaptarse a las características del elemento y la composición de la muestra **(Leclercq et al., 2015).**

1.1.12. Normativa de seguridad alimentaria y límites máximos de metales pesados en concha negra

Las normas de seguridad alimentaria son un conjunto de directrices y regulaciones formuladas por gobiernos, organizaciones internacionales y entidades industriales para asegurar la seguridad y calidad de la cadena de suministro de alimentos **(Calero, 2011).**

Tabla 1. *Límites máximos permisibles establecidos por la Comisión de la Comunidades Europeas en el reglamento (CE) No 1881/2006*

Metal	Límite máximo de concentración	Unidad de peso fresco
Pb	1,5	
Cd	1,0	
As	-------	mg/kg
Ni	--------	
Cr	--------	

Fuente: (Reglamento (CE) 1881/2006, 2008)

Tabla 2. *Límites máximos permisibles establecidos por la NTE Inen-CODEX*

Metal	Límite máximo de concentración	Unidad de peso fresco
Pb	-----	
Cd	2,0	
As	--------	mg/kg
Ni	-------	
Cr	--------	

Fuente: (INEN-CODEX, 2015)

1.1.13. Métodos estadísticos

1.1.13.1 Prueba t de Student

Esta prueba es un tipo de estadística deductiva la cual se utiliza para determinar si hay una diferencia significativa entre las dos muestras. Con esta estadística deductiva se asume que las variables dependentes tienen una distribución normal para aplicar esta prueba $p<0,5$ **(Jornet, 2014).**

1.1.13.2 Prueba de Wilcoxon

Esta prueba se caracteriza por ser una prueba no paramétrica la misma que es útil para comparar dos muestras relacionadas. Se utiliza particularmente cuando no se cumplen las suposiciones de normalidad **(Córdova, 2024)**

1.1.14. Ingesta semanal tolerable

Es un resultado toxicológico el cual es utilizado para los contaminantes de los alimentos, como lo son los metales pesados que tienen propiedades acumulativas. Su valor va a representar la exposición semanal permisible para estos contaminantes **(CODEX, 2018)**

1.1.15. Concentración de los metales en las conchas

Las diferentes concentraciones de los metales pesados para los distintos metales pesados:

Arsénico: (1,83 mg/kg)

Níquel: (0,167 mg/kg)

Plomo: cantidad mínima (0,063 mg/kg) cantidad máxima (0,187 mg/kg)

Cadmio: cantidad mínima (0,192 mg/kg) cantidad máxima (0,429 mg/kg)

Cromo: (0,111 mg/ kg)

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Evaluar el cumplimiento de los niveles de metales pesados presentes en la concha negra (*Anadara tuberculosa*) expendida en mercados de la ciudad de Ambato con los límites establecidos en la normativa vigente de seguridad alimentaria.

1.2.2 Objetivos específicos

Determinar la presencia de metales pesados en muestras de concha negra (*Anadara tuberculosa*) expendida en los mercados de la ciudad de Ambato.

Comparar los resultados obtenidos con los límites establecidos en la normativa ambiental.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1 Materiales

2.1.1 Equipos de laboratorio

Los equipos de laboratorio se detallan en la **Tabla 3:**

Tabla 3. *Equipos de Laboratorio*

Material	Cantidad
Nevera LG - Inverter GS65MSP1 (4º C)	1
Estufa BINDER	1
Balanza analítica RADWAG	1
Mufla de Cerámica BIOBASE	1
Sistema de digestión por microondas ETHOS UP MILESTONE	1
Campana de extracción de gases Novachem	1
Espectrofotómetro de Absorción Atómica PG INSTRUMENTS AA500	1
Purificador de agua - Thermo Scientific	1

2.1.2 Instrumentos de laboratorio

Los instrumentos de laboratorio se detallan en la **Tabla 4:**

Tabla 4. *Instrumentos de laboratorio*

Material	Cantidad
Puntas de micropipeta de 1000 µL	1
Pipetas graduadas de 10 y 25 ml	3
Propipeta	2
Balón de aforo de 100 mL	10
Balón de aforo 1 L	2
Vaso de precipitación de 100 mL	3
Vaso de precipitación de 250 mL	5
Mortero	1
Vaso de digestión TFM (teflón)	12
Crisol	15
Jeringa	6
Filtro de jeringa 0.4 mm	50
Probeta 50 mL	1
Viales de plástico 2 mL	50
Desecador	1
Espátula	2
Tamiz 0,5 mm	1
Botella Ámbar 1 L	4
Botella Ámbar 250 mL	30

2.1.3 Reactivos de laboratorio

Los reactivos de laboratorio se detallan en la **Tabla 5:**

Tabla 5. *Reactivos de laboratorio*

Material	Cantidad
Ácido nítrico (HNO3) 65 % - Merck Millipore	110 mL
Peróxido de hidrógeno(H2O2) 30 % - Merck Millipore	30 mL
Argón 5,0, pureza: > 99,99 % - Linde	1 cilindro
Estándar Cd (1000 µg/L) - AccuStandart, New Haven, USA	2 mL
Estándar de Pb (1000 µg/L) -AccuStandart, New Haven, USA	2 mL
Estándar de Ni (1000 µg/L) – AccuStandart, New Haven,USA	2 mL
Estándar As (1000 µg/L) - AccuStandart, New Haven, USA	2 mL
Estándar Cr (1000 µg/L) - AccuStandart, New Haven, USA	2 mL
Agua destilada	7 L

2.1.4 Insumos de laboratorio

Los insumos de laboratorio se detallan en la **Tabla 6:**

Tabla 6. *Insumos de laboratorio*

Material	Cantidad
Guantes de nitrilo	1 paquete
Papel Aluminio	1 rollo
Envases estériles de polietileno 125 mL	15 unidades
Parafilm	1 rollo
Alcohol antiséptico	1 frasco
Papel absorbente	2 rollos
Material	**Cantidad**
Envases de polietileno con boca ancha de tapa rosca	15 unidades
Fundas herméticas de polipropileno	15 unidades
Espátula	1 unidad
Cinta adhesiva	1 unidad

2.1.5 Materiales de escritorio

Los materiales de escritorio se detallan en la **Tabla 7:**

Tabla 7. *Materiales de escritorio*

Material	Cantidad
Computadora Portátil	1 unidad
Calculadora	1 unidad
Esferos y lápices	3 unidades
Rotuladores	2 unidades
Cuaderno	1 unidad
Etiquetas	1 paquete

2.2. Métodos

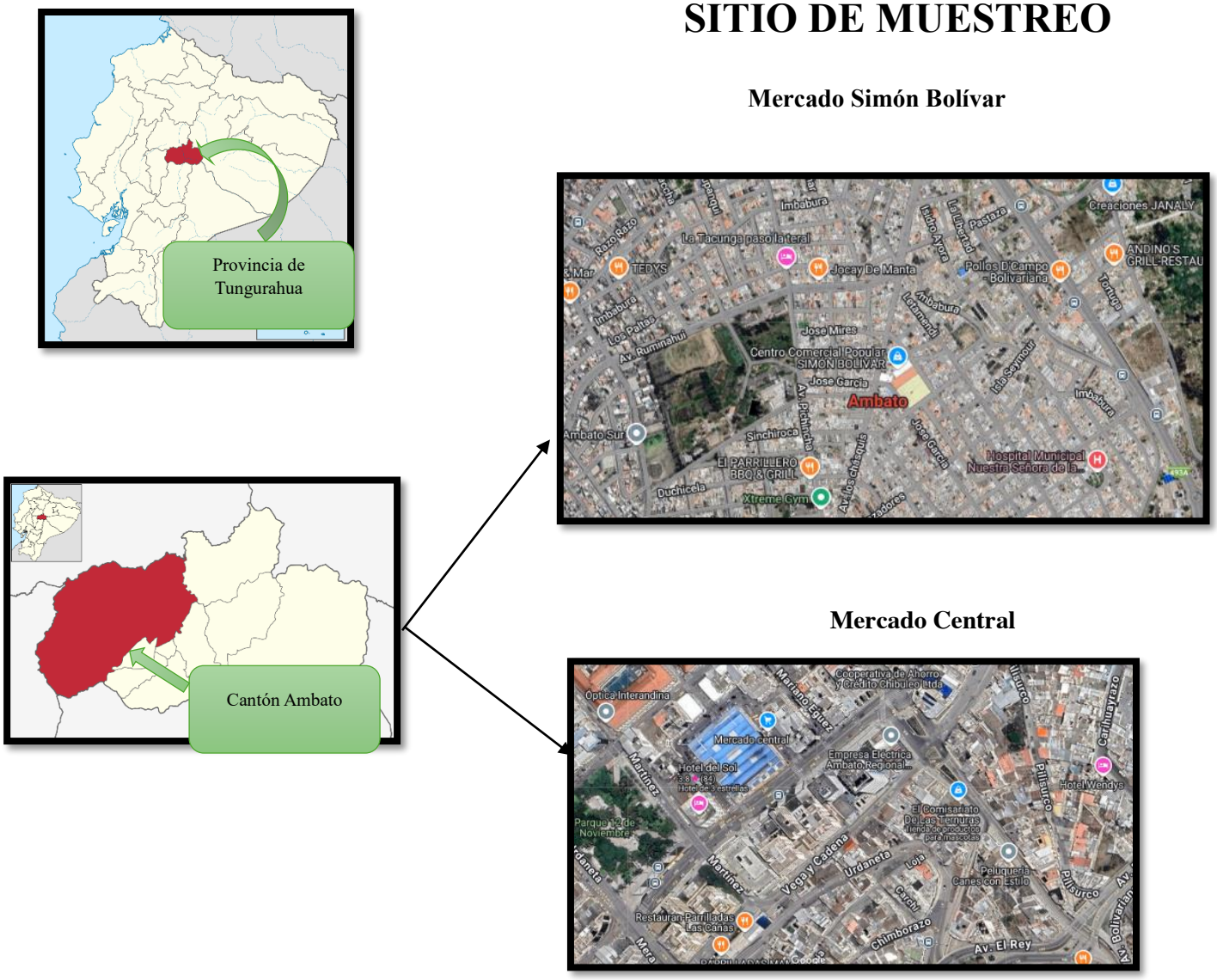
2.2.1. Selección de los puntos de venta

Se identificó los puntos de venta de la concha negra en los mercados de la ciudad de Ambato, Mercado Central, Mercado Simón Bolívar, a través de la observación directa y entrevistas informales con comerciantes de los mercados.

2.2.2 Visita de campo

Se recogió información sobre las características de los puntos de venta, indagando sobre el almacenamiento del producto y procedencia de la concha negra a los comerciantes del lugar. La **Figura 2** muestra la ubicación geográfica donde se hizo el muestreo.

Figura 2. *Ubicación geográfica de los mercados de la ciudad de Ambato a muestrear*



Nota. Imagen satelital obtenida de Geoportal

2.2.3 Recolección de muestra

En visitas a los locales se recogió las muestras necesarias para la determinación de los metales pesados en la concha negra *(Anadara tuberculosa)*.

2.2.3. Tipo de muestreo realizado

El muestreo de conchas (*Anadara tuberculosa)* se basó bajo el procedimiento planteado en el protocolo de muestreo de moluscos, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino **(Sánchez, 2016)**. Para ello, se muestreó por triplicado la concha (*Anadara tuberculosa)* en 5 puntos de comercialización provenientes de los mercados de la ciudad de Ambato, como los Mercados Central y Simón Bolívar. Las muestras se procedieron a depositar en diferentes fundas herméticas de polipropileno y selladas herméticamente para evitar algún tipo de contaminación para posteriormente ser sometidas a refrigeración.

2.2.4. Sistema de digestión

Para digerir la muestra se utilizó el método U.S. EPA 3051 A, además de ello se usó como digestor el ácido nítrico (HNO_3) y el sistema de microondas ETHOS UP MILESTONE CONNECT. Como primer paso se inició a limpiar meticulosamente los vasos de digestión del equipo calentándolos una solución de HNO_3 al 65 %. Se lavó con agua y se secó en ambiente aséptico. Del mismo modo, todo el material ya sea de plástico o vidrio que tuvo contacto con las muestras se lavó con HNO_3 diluido al 10%.

Se procedió a extraer el contenido de las conchas para proceder a secarlas y triturarlas, una vez con las muestras de conchas secas y molidas, se colocó aproximadamente 500 miligramos de cada muestra en vasos de digestión TFM (teflón) y se agregó 5 mL de HNO_3 al 65 % más 1 mL de peróxido de hidrógeno al 30 %, bajo la campana de extracción, seguido a ello se procedió a tapar el vaso de TFM para posteriormente llevarlo al plato giratorio del digestor de microondas.

Se empleó 2 rampas de calentamiento aplicando 1000 W de potencia tomando en cuenta los siguientes parámetros y temperaturas: Temperatura ambiente 170°C en 15 min, se mantuvo una temperatura constante de 170 °C durante 25 min. Una vez pasado el tiempo de digestión (45 min) se dejó enfriar por un mínimo de 5 minutos y se retiraron los vasos de TFM del microondas. Finalmente, cuando los vasos alcancen una temperatura ambiente se transvasó su contenido en balones de aforo de 100 mL y se conservaron en un frasco ámbar de 250 mL a 4°C.

2.2.5. Determinación de metales por espectrofotometría de absorción atómica

Para determinar la concentración de cadmio (Cd), plomo (Pb), níquel (Ni), cromo (Cr) y arsénico (As) en las conchas *Anadara tuberculosa*, se aplicó la técnica de espectrometría de absorción atómica la cual se basó en el método oficial analítico 999.11 de la AOAC y el método 7000 A de la U.S. EPA. De esta forma, se empleó el espectrofotómetro de Absorción Atómica modelo PG INSTRUMENTS AA500 con el sistema de horno de grafito y estándares comerciales monoelementales (*AccuStandar*) de 1000 µg/L, establecidos en la **Tabla 8:**

Tabla 8. *Estándares monoelementales (AccuStandar) de 1000 µg/L*

Elemento	Nº de catálogo	Proveedor
Arsénico (As)	AA03N-1	AccuStandart, New Haven, USA
Cadmio (Cd)	AA08N-1	AccuStandart, New Haven, USA
Plomo (Pb)	AA29N-1	AccuStandart, New Haven, USA
Níquel (Ni)	AA37N-1	AccuStandart, New Haven, USA
Cromo (Cr)		AccuStandart, New Haven, USA

Se inició con una preparación una solución madre de 1000 ppm a un volumen de 1 L del estándar monoelemental en HNO_3 al 1% (v/v). De esta manera a partir de la solución madre se preparó varias soluciones a concentraciones dentro del rango de la recta de calibración

Luego con el uso del equipo espectrofotométrico se configuró la inyección a un volumen de 10 µL para el agua destilada considerada como blanco y las soluciones preparadas, con ello la medición de absorbancia se realizó por triplicado. Finalmente, se elaboró una curva de calibración en el rango y límite de detección sugeridos por el proveedor del equipo, *Analytical Cookbook PG Instruments* (***PG Instruments, 2014***) mostrado en la **Tabla 9:**

Tabla 9. *Rango de la recta de calibración y límites de detección*

Metales	Longitud de Onda (nm)	Rango de la recta de calibración (µg/L)	Rango de trabajo (µg/L)
Cadmio (Cd)	228,8	0 – 9	0.10– 6,0
Plomo (Pb)	283,3	0 – 150	1,00– 100,0
Níquel (Ni)	232	0 – 300	1,00– 150,0
Arsénico (As)	193,7	0 – 300	3,00– 200
Cromo (Cr)	359,9	0 – 75	0,50– 50

Nota. Obtenido de *Analytical Cookbook PG Instruments*

Una vez realizada la curva de calibración se inició con la medición de los metales de las muestras de las conchas (*Anadara tuberculosa)*. Se procedió a preparar las muestras, entre ellas el blanco y un estándar de referencia para el control de sensibilidad del equipo. Se configuró el equipo con el programa de temperatura de detección respectivo para cada metal sugeridos en el *Analytical Cookbook PG Instruments*, así como la inyección de 10 µL de blanco, estándar y las muestras con mediciones de absorbancia por triplicado. La lectura del equipo se obtuvo en unidades de (µg/L) por lo cual, se calculó la conversión a unidades de (mg × kg muestra humeda^{-1}) de concentración de metal.

2.2.6 Análisis estadísticos

Para la evaluación de los resultados obtenidos en este estudio, se seleccionó una prueba estadística según el requerimiento del análisis.

2.2.6.1. Prueba t de Student

La prueba de t de Student se aplicó para examinar la diferencia entre dos muestras dependientes las mismas que tengan una distribución normal y homogeneidad.

2.2.6.2. Rango con signo de Wilcoxon

Se utilizó esta prueba no paramétrica para analizar diferencias en muestras relacionadas cuando no se puede asumir una distribución normal.

2.2.7. Ingesta semanal tolerable

Es la ingesta máxima de una sustancia presente en el alimento como contaminantes, los mismos que pueden consumirse semanalmente durante toda la vida, sin riesgos de efectos adversos para la salud.

$$IS = \frac{C \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT} \qquad \text{(EC. 1)}$$

Dónde:

IS= Ingesta semanal

C: Concentración del contaminante en el alimento (mg/kg)

IR: Tasa de ingesta del alimento ($\frac{\text{mg}}{\text{kg}_{\text{peso corporal}} \times \text{semana}}$)

EF: Frecuencia de exposición (días)

ED: Duración de la exposición

BW: Peso corporal del individuo (kg)

AT: Tiempo promedio de exposición (días) AT: ED X días

2.2.8 Contenido de humedad

Ecuación para determinar la humedad de las conchas

$$\% = \frac{P1 \times P2}{P1} \times \mathbf{100}$$

Dónde: (Ec 2.)

P1: Peso húmedo de la muestra

P2: Peso seco de la muestra

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de los resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos de la medición de metales pesados (As, Ni, Pb, Cd, Cr) en muestras de concha negra (*Anadara tuberculosa*).

3.1.1. Concentración de arsénico en muestras de concha negra (*Anadara tuberculosa*)

En la Tabla 10 se logra evidenciar la presencia de variabilidad entre muestras, en este caso las concentraciones de arsénico varían entre las diferentes muestras y replicas, a diferencia de las demás muestras la muestra 5 presentan límites bajos. Estudios realizados por parte de la Universidad de Azuay presenta para el arsénico una concentración para este metal se presenta de (0,00225 mg/kg) llegan a ser menores que las concentraciones obtenidas.

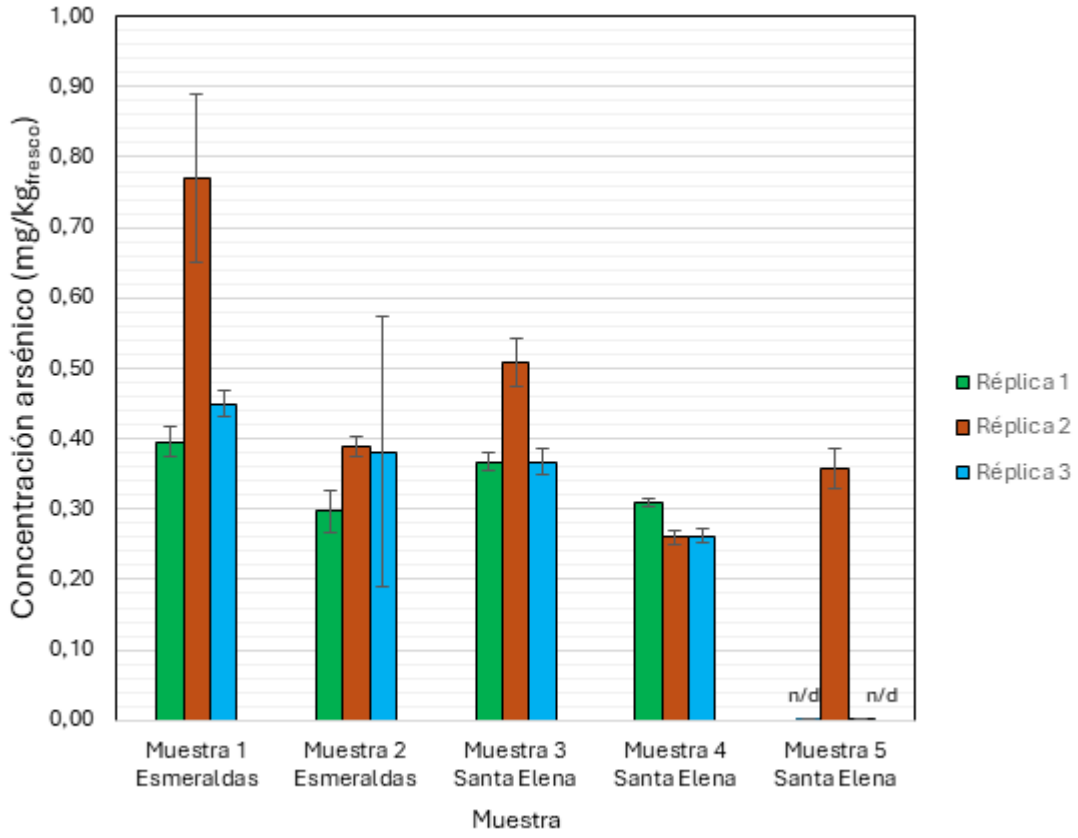
El arsénico llega a presentar un riesgo para el ser humano, este se lo puede encontrar en la naturaleza, este elemento es usado dentro de la agricultura en los plaguicidas y en las industrias como en el acero **Corey, (2017)** menciona que este metal se encuentra de manera natural en altas concentraciones en el agua de determinadas regiones geográficas, sin embargo también se debe a las condiciones antropogénicas tales como los procesos industriales la pesca y la urbanización tal como lo menciona **Vinces et al. (2024)**, esto puede explicar la concentración alta por parte de la muestra 2 mostrada en la **Figura 3**, proveniente de esmeraldas, además al consumir un producto con una alta concentración de este metal pueden ocasionar un riesgo toxicológico alto, ocasionando problemas serios en la salud del ser humano como los problemas gastrointestinales como náuseas, vómitos, dolor abdominal.

Tabla 10. *Concentración de arsénico en muestras de concha negra (Anadara tubeculosa) de los mercados (Mayorista y Simón Bolívar) de la ciudad de Ambato. mg/kg$_{fresco}$*

	Muestra 1	**Muestra 2**	**Muestra 3**	**Muestra 4**	**Muestra 5**
Réplica 1	0,40 ± 0,02	0,30 ± 0,03	0,37± 0,01	0,31± 0,01	n/d± n/d
Réplica 2	0,77 ± 0,12	0,39 ± 0,01	0,51±0,03	0,26± 0,01	0,36± 0,03
Réplica 3	0,45 ± 0,02	0,38 ± 0,19	0,37± 0,02	0,26±0,01	n/d± n/d

Nota. n/d = no detectado

Figura 3. Concentración de arsénico en muestras de concha negra (Anadara tuberculosa) de los mercados (Mayorista y Simón Bolívar) de la ciudad de Ambato mg/kg$_{fresco}$



Nota. n/d = no detectado

3.1.2 Concentración de níquel en muestras de concha negra (*Anadara tuberculosa*)

Dentro de la muestra 1 y 3 se presentan los niveles elevados de níquel, específicamente en la réplica 1 donde la concentración es más alta entre todas las muestras siendo esta de la muestra 1, sin embargo en la muestra 3 a pesar de presentar una concentración elevada en la réplica 1 presenta una menor concentración, en la muestra 2 las concentraciones presenta valores moderados, y en la muestra 4 y 5 se presentan concentraciones bajas, estudios realizados por **Long Han & Xiao-Dong, (2023)** muestran que la concentración de níquel es de (0,268 mg/kg) siendo menores a las concentraciones determinadas, en la muestra 5 existen valores no detectados Del Pino Ruiz, (2017) menciona que esto puede ser debido a condiciones específicas tales como que la muestra carece del componente o sustancia que se está midiendo o el instrumento me medición tiene un límite de detección y el valor está por debajo de ese límite afectando así los resultados los datos se detallan en la **Tabla 11.**

En la **figura 4** se logra evidenciar que existe una alta concentración de la muestra 1 específicamente en la réplica 3, seguido de la muestra 3 en la réplica tres, las muestras son provenientes de Esmeraldas y Santa Elena respectivamente, en relación a la desviación estada, , teniendo una desviación estándar alta, debido a que los datos se encuentran dispersos, las muestras demás muestran presentan una desviación estándar baja debido a que las mediciones están más cerca de la media, por otro lado lo que se logra evidenciar es la concentración alta por parte de este metal en algunas muestras como ya se detalló, los manglares en el transcurso del tiempo han sido impactados de manera negativa y existen áreas que están expuestas a actividades antropogénicas como la minería, prácticas agronómicas entre otros, esto produce una mayor fuente de contaminación por metales pesados, esto indicaría del por qué se presenta una mayor contaminación en las muestras, esta información concuerda con lo expuesto por **Holguin Plazarte, (2023)** mencionando que los ecosistemas son vulnerables a pesar de la existencia de estudios que demuestran que los manglares son altamente resilientes, sin embargo, los manglares y sus recursos pesqueros llegan a verse afectados por la contaminación de desechos sólidos y líquidos de las actividades urbanas e industriales por ende van a afectar a su flora y fauna, es por eso que se puede explicar los índices de contaminación. Por otro lado, el grado de contaminación por este metal en diferentes lugares se puede conocer a través de los "bioacumuladores" de contaminación, los cuales son ciertos moluscos y crustáceos como el cangrejo, las conchas entre otros **(Arias Olivares., et al, 2014)**.

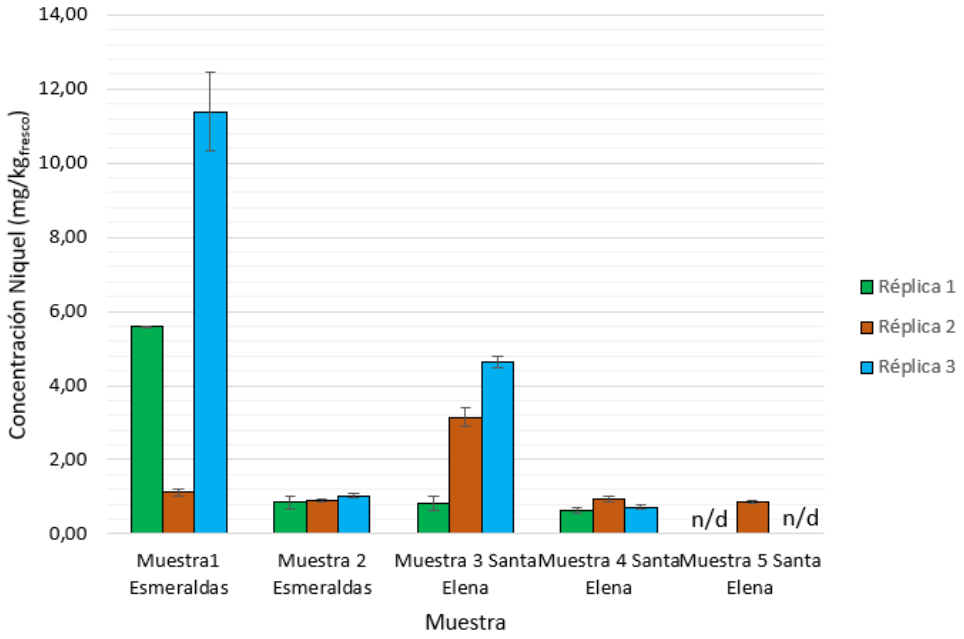
Tabla 11. *Concentración de níquel en muestras de concha negra (Anadara tubeculosa) de los mercados (Mayorista y Simón Bolívar) de la ciudad de Ambato mg/kg$_{fresco}$*

	Muestra 1	**Muestra 2**	**Muestra 3**	**Muestra 4**	**Muestra 5**
Réplica 1	5,58 ± 0,03	0,85± 1,52	0,82±0,18	0,63±0,09	n/d
Réplica 2	1,12 ± 0,08	0,90± 0,24	3,15±024	0,93±0,07	0,87±0,04
Réplica 3	11,39 ± 1,06	1,03± 0,64	4,64±016	0,73±0,05	n/d

Nota. n/d = no detectado

Figura 4.

Concentración de níquel en muestras de concha negra (Anadara tuberculosa) de los mercados (Mayorista y Simón Bolívar) de la ciudad de Ambato mg/kg$_{fresco}$



Nota. n/d = no detectado fuera del rango de trabajo.

3.1.3 Concentración de plomo en muestras de concha negra (*Anadara tuberculosa*)

En la **Tabla 12** se muestra que existe una variabilidad significativa entre sus réplicas, en la muestra 1, sin embargo, en la réplica 3 presenta un valor ligeramente alto, por otro lado, en la muestra 2 y 4 tienen valores más consistentes, en l amuestra 5 se presenta una variabilidad no tan a comparación de la muestra 1.

Las concentraciones de plomo se muestran bastante consistentes, y no se observan diferencias significativas entre las muestras que provienen de esmeraldas y de Santa Elena, ya que son concentraciones similares, los datos se detallan en la figura 5. Los estudios expuestos por parte de **Long Han & Xiao-Dong, (2023)** presentan una concentración de (0,137 mg/kg) en donde los valores que se obtuvo tienden a presentan una ligera diferencia entre ellos, manteniéndose en el rango.

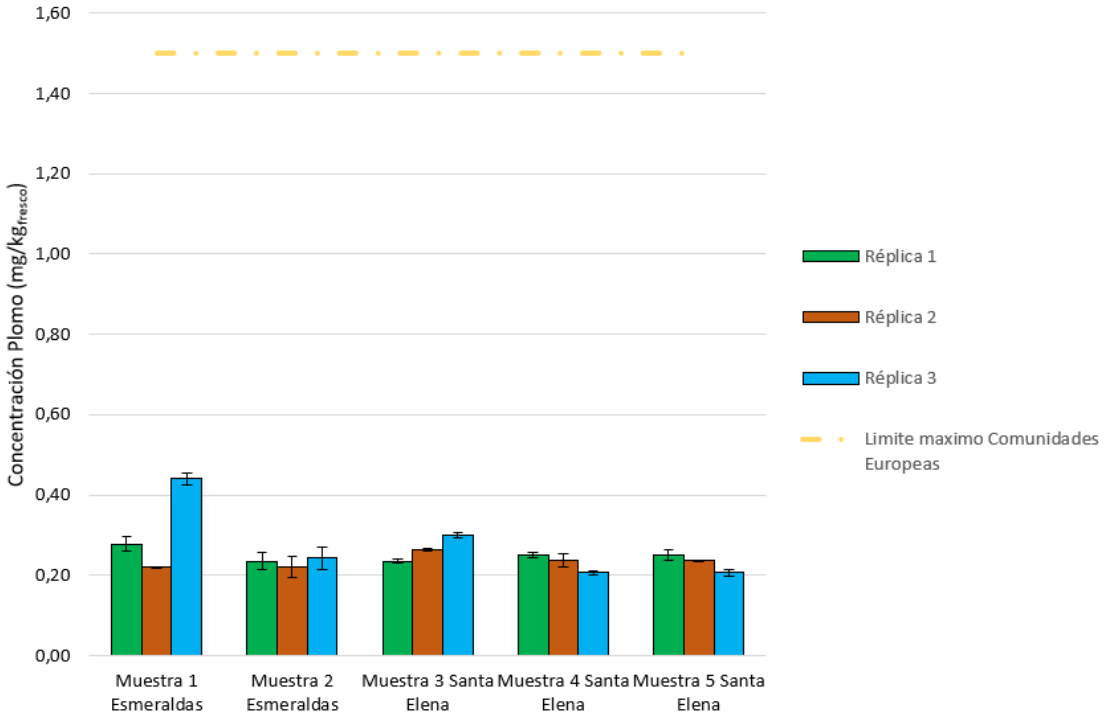
Las Comunidades Europeas establecen un límite máximo permisible para el plomo de (1,5 mg/kg) en peso fresco, de este modo en las muestras analizadas provenientes de Santa Elena y Esmeraldas cumplen con la normativa establecida, ya que todas las concentraciones de plomo se encuentran por debajo del límite, indicando que no existe un riesgo para la salud del consumidor **(Reglamento (CE) 1881/2006, 2008).**

Tabla 12. *Concentración de Plomo en muestras de concha negra (Anadara tuberculosa) de los mercados (Mayorista y Simón Bolívar) de la ciudad de Ambato mg/kg$_{fresco}$*

	Muestra 1	**Muestra 2**	**Muestra 3**	**Muestra 4**	**Muestra 5**
Réplica 1	0,28±0,02	0,23±0,02	0,23±0,01	0,25±0,01	0,19±0,01
Réplica 2	0,22±0,00	0,22±0,02	0,26±0,00	0,24±0,02	0,19±0,00
Réplica 3	0,44±0,02	0,24±0,03	0,30±0,01	0,21±0,00	0,26±0,01

Figura 5

Concentración de plomo en muestras de concha negra (Anadara tuberculosa) de los mercados (Mayorista y Simón Bolívar) de la ciudad de Ambato mg/kg$_{fresco}$



Nota. La línea entrecortada= LM de plomo **(1,5 mg/kg)** en conchas descritos según las Comunidades Europeas.

3.1.4 Concentración de cadmio en muestras de concha negra (*Anadara tuberculosa*)

En la muestra 1 se presenta una notable variabilidad entre sus réplicas en especial entre la réplica 3 que es la más baja, en relación al error estándar es pequeño indicando que existe precisión en las mediciones entre las muestras 2, y 5 su variabilidad es baja presentando concentraciones muy homogéneas las muestras y en la muestra 3y 4 existe una ligera variabilidad, el error estándar para las muestras son bajos, representando confiabilidad en los datos en relación a la concentración de este metal haciendo una comparación con los datos obtenidos por parte de **Long Han & Xiao-Dong, (2023)** (1,83 mg/kg) son mayores a comparación de los datos obtenidos, los datos se detallan en la **Tabla 13.**

En la Figura 6 se logra observar que las muestras provenientes de las provincias de Esmeraldas y Santa Elena sus concentraciones son bajas llegando a cumplir con las normas establecidas por parte del CODEX y las Comunidades Europeas, demostrando que el producto no representa ningún riesgo la la salud de las personas, de tal forma que el CODEX establece un límite permitido para el cadmio es de (2 mg/kg) indicando que las muestras están por debajo de este límite **(INEN-CODEX, 2015)**

De igual manera dentro de las Comunidades Europeas el límite permitido para el cadmio (es de 1,0 mg/kg) mostrando que las muestras por parte de las dos localidades se encuentran bajo el límite permitido **(Reglamento (CE) 1881/2006, 2008)**

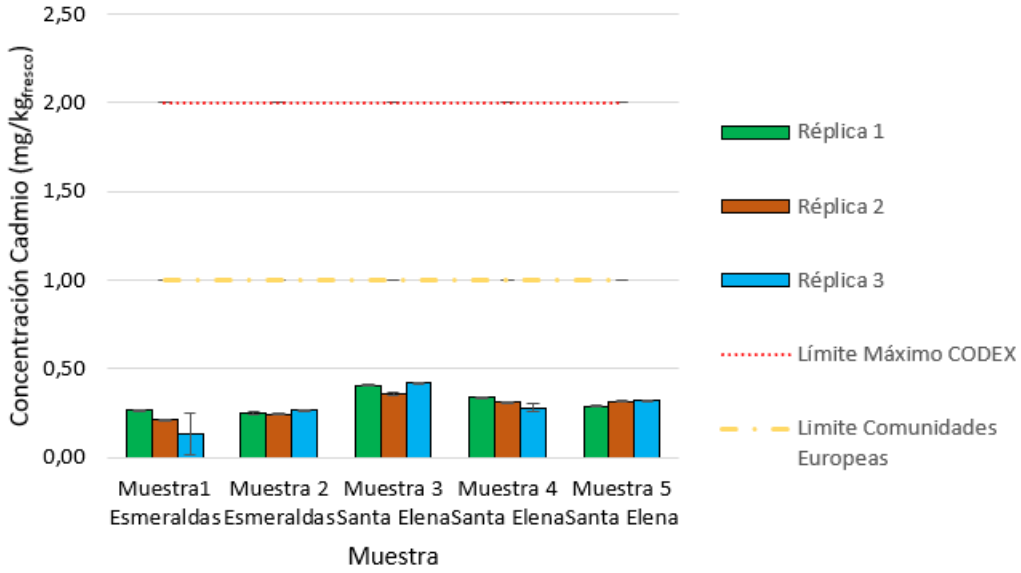
Por otro lado, las concentraciones en cada muestra indican que son consistentes con una ligera variación en su réplica, no existe diferencia significativa entre las dos localidades.

Tabla 13. *Concentración de cadmio en muestras de concha negra (Anadara tubeculosa) de los mercados (Mayorista y Simón Bolívar) de la ciudad de Ambato mg/kg$_{fresco}$*

	Muestra 1	**Muestra 2**	**Muestra 3**	**Muestra 4**	**Muestra 5**
Réplica 1	0,27±0,00	0,25±0,01	0,41±0,00	0,34±0,00	0,29±0,00
Réplica 2	0,21±0,00	0,24±0,00	0,36±0,01	0,31±0,00	0,31±0,00
Réplica 3	0,14±0,12	0,27±0,00	0,42±0,01	0,28±0,02	0,32±0,00

Figura 6

Concentración de cadmio en muestras de concha negra (Anadara tuberculosa) de los mercados (Mayorista y Simón Bolívar) de la ciudad de Ambato mg/kg$_{fresco}$



Nota. La línea entrecortada = LM de Cadmio **(2.0 mg/kg)** en conchas descritos según el CODEX. La línea entrecortada = LM de Cadmio **(1.0 mg/kg)** en conchas descritos según las Comunidades Europeas.

3.1.5 Concentración de cromo en muestras de concha negra (*Anadara tuberculosa*)

La muestra 1 presenta una gran variabilidad entre sus réplicas, siendo la réplica 1 con un valor alto, a comparación de las muestras 3 y 4 indican una menor variabilidad, en relación a las concentraciones la muestra 1 presenta una mayor concentración especialmente en la réplica 3, indicando que existe una mayor concentración de contaminación en la muestra, a comparación de la muestra 2 en la réplica 3 existe una menor concentración, estos datos llegan a ser mayores en relación a los datos obtenidos por parte de **Long Han & Xiao-Dong, (2023)** los cuales presentan una concentración de (0,111 mg/kg) los datos se detallan en la **Tabla 14.**

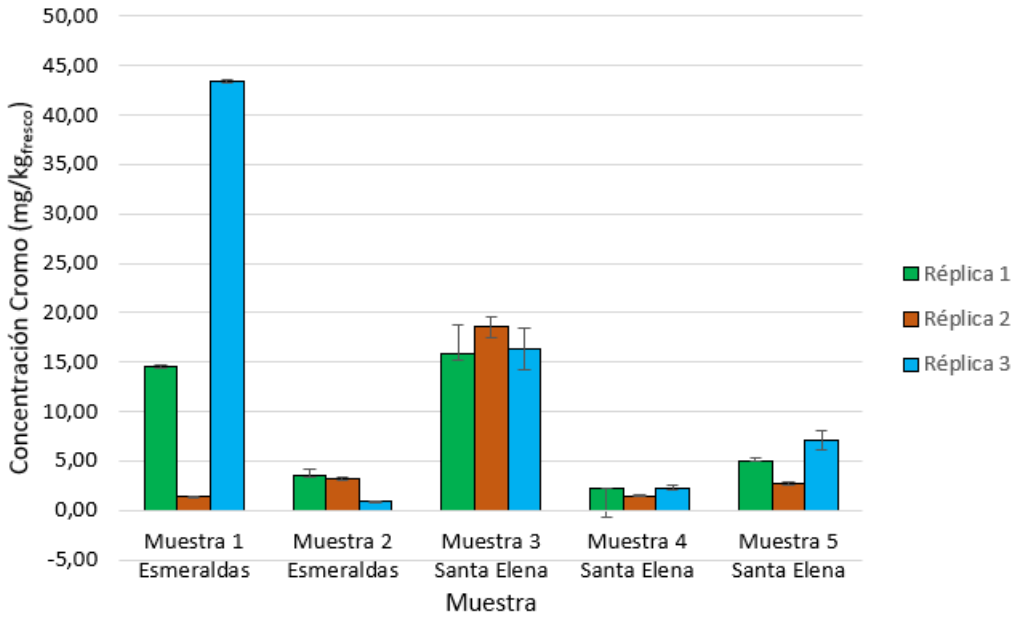
En la **Figura 7** se evidencia que existe una alta concentración de cromo en la muestra 1 proveniente de la zona de Esmeraldas, específicamente en la réplica 3, por otro lado, las muestras 2 y 4 presentan pequeñas desviaciones estándar convirtiéndolas en muestras homogéneas y confiables.

Tabla 14. *Concentración de cromo en muestras de concha negra (Anadara tubeculosa) de los mercados (Mayorista y Simón Bolívar) de la ciudad de Ambato mg/kg$_{fresco}$*

	Muestra1	**Muestra 2**	**Muestra 3**	**Muestra 4**	**Muestra 5**
Réplica 1	14,62±0,15	3,56±0,65	15,82±2,93	2,21±0,02	5,04±0,36
Réplica 2	1,45±0,04	3,28±0,17	18,56±1,07	1,47±0,04	2,73±0,09
Réplica 3	43,43±0,12	0,87±0,05	18,36±2,05	2,28±0,23	7,12±1,02

Figura 7

Concentración de Cromo en muestras de concha negra (Anadara Tuberculosa) de los mercados (Mayorista y Simón Bolívar) de la ciudad de Ambato mg/kg$_{fresco}$



Nota. No hay una normativa vigente para el cromo en la concha negra

3.1.6 Evaluación del promedio en relación con el cumplimiento a los límites máximos permitidos y la ingesta semanal tolerable

En la Tabla 15 se observa la comparación del promedio de la concentración de cada metal pesado que fue medido con relación al cumplimiento de los límites máximos permitidos establecidos para cada metal, sin embargo para los metales tales como el arsénico (As), níquel (Ni), y Cromo (Cr) no se cuenta con ninguna normativa con la que se pueda comparar los resultados obtenidos para moluscos, sin embargo presentan concentraciones descartando algún tipo de peligro, por el contrario en relación al plomo se obtuvo un promedio de concentración de 0,25 y la normativa para el plomo establecida por las Comunidades Europeas para moluscos es de 1,5 mg/kg, demostrando que se encuentra la concentración bajo el limite permitido, del mismo modo el cadmio presenta una concentración de 0,29 mg/kg y la normativa para cadmio para moluscos está establecida por las Comunidades Europeas con un límite de 1,5 mg/kg, y por el Codex con un límite de 2,0 mg/kg, en donde la concentración del metal se encuentra bajo el límite establecido para los dos metales, de esta manera se demuestra que si una muestra se encuentra bajo el límite permitido no representa un riesgo significativo tanto en términos de salud, seguridad o impacto ambiental.

Por otro lado, **Lema,(2003)** describe a la una evaluación de riesgo como una forma de examinar un peligro con el fin de evitarlo o reducirlo, en la **Tabla 16** se muestra la ingesta semanal tolerable expresada en (mg/kg $_{pc}$) en donde se hizo una evaluación para determinar bajo las concentraciones obtenidas si las mismas están bajo la dosis de referencia. Es decir si una persona consume 150 g (0,15kg) de concha negra a la semana con una concentración de 0,39 mg/kg de arsénico durante 21 días, contando que la persona posee un peso corporal de 70 kg la misma está expuesta a este metal durante dos años de este modo teniendo un promedio de tiempo de exposición de 91 días de este modo la dosis administrada de arsénico, es de 0,0004 mg/kg semana $_{pc}$ estando por debajo de la dosis de referencia del arsénico que es de 0,0015 mg/ kg $_{pc}$ establecido por la **Juárez Iglesias.,et al, (2009)**, demostrando la ingesta se encuentra por debajo del límite seguro, de este al hacer la misma comparación con los demás metales se establece que todos se encuentran por debajo del límite seguro, garantizando la seguridad del consumidor, hay que tomar en consideración que la ingesta semanal tolerable es del Cr^{3+} **ATSDR, (2012)** explica que los compuestos de este metal son menos tóxicos y no causan problemas a la salud a comparación del Cr^{6+} que es más tóxico es por eso que no presenta una ingesta tolerable porque cualquier exposición puede ser peligrosa.

Tabla 15. *Evaluación del promedio en relación con el cumplimiento a los límites máximos permitidos en la medición de metales pesados de los mercados de Ambato.*

Metal	$\bar{x}$	S	LPM (mg/kg)
As	0,39	0,04	-------
Ni	2,51	0,18	-------
Pb	0,25	0,01	1,5 C E
Cd	0,29	0,01	2.0 CODEX 1,0 CE
Cr	9,25	0,60	-------

Nota. $\bar{x}$= promedio, **S=** Desviación estándar, **LPM=** Límite máximo permitido.

CE= Comunidades Europeas.

Tabla 16.

Evaluación del riesgo toxicológico

Metal	Ingesta semanal tolerable (mg/kg_{pc})
Ar	0,015 mg/kg_{pc}
Ni	1 mg/kg_{pc}
Pb	0,0005 mg/kg_{pc}
Cd	0,0025 mg/kg_{pc}
Cr	0,3 m mg/kg_{pc}

Nota. pc= peso corporal

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Las muestras fueron recolectadas en diversas zonas de comercialización del Mercado Central y del Mercado Simón Bolívar. Estas cumplieron parcialmente con los estándares de seguridad alimentaria, particularmente en lo que respecta a las condiciones de almacenamiento, y al cumplimiento de las normativas vigentes.
- El análisis realizado para la detección de metales pesados en la concha negra permitió identificar la presencia de cinco metales (Pb, As, Cd, Cr, Ni) en concentraciones variables. Esta situación constituye un problema de relevancia crítica para la salud de los consumidores, ya que la exposición a estos elementos puede generar efectos tóxicos acumulativos y riesgos significativos para la seguridad alimentaria.
- Los resultados obtenidos fueron contrastados con las normativas vigentes establecidas por organismos internacionales como el Codex Alimentarius y las regulaciones de las Comunidades Europeas. Se evidenció que las concentraciones de estos metales están bajo los límites establecidos por la normativa, mostrando que no representa un riesgo para la salud.

4.2 RECOMENDACIONES

- Realizar estudios más detallados para identificar las fuentes más exactas de contaminación
- Implementar programas de educación ambiental para sensibilizar a los productores y consumidores a cerca de la importancia de la calidad de los alimentos
- Identificar y mitigar las fuentes ambientales responsables de la presencia de metales pesados.

MATERIALES DE REFERENCIA

Arjomandi, M., & Shirkhanloo, H. (2019). A Review: Analytical methods for heavy metals determination in environment and human samples. Analytical Methods in Environmental Chemistry https://doi.org/10.24200/amecj.v2.i03.73 Journal, 2(3), 97–126.

Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición. (2023). Plomo. https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/seguridad_alimentaria/gestion_riesgos/ficha_plomo_2023.pdf

Campos, E., & Jiménez, A. (2017). *Estadística y probabilidad*. Matemática - PEA

Cortés, L. D. (2021). *Revisión de alcance sobre el impacto ambiental, económico y de salud pública del arsénico, 2011 a 2021*. [Tesis de grado, Universidad del Rosario]. Repositorio Institucional del Rosario.

ATSDR. (2012). Reseña Toxicológica del Cromo. *Health and Human Services*, *Iii*, 2. https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts7.pdf

Bose, S. K., & Chakraborty, U. C. (1957). Resolutions Adopted at the General Session of the VIII All India Pediatric Conference at Vellore on the 21st December, 1956. *The Indian Journal of Pediatrics*, *24*(1), 14. https://doi.org/10.1007/BF02796157

Calero, C. (2011). *Seguridad alimentaria*.

CODEX. (2018). Norma General Del Codex Stan 193-1995, Para Los Contaminantes Y Las Toxinas Presentes En Los Alimentos Y Piensos. *Codex Stan 193_1995*, 1–48.

Comité de turismo de Tungurahua. (2015). Guía de la ruta agroturística artesanal del cantón Ambato. *Vive Tungurahua*.

Córdova, L. (2024). *Universidad del Azuay En esta edición : Herramientas estadísticas : Prueba de Wilcoxon Herramientas estadísticas : Prueba de Wilcoxon Introducción Procedimiento Supuestos*. 3–5.

García, P. E. P., & Cruz, M. I. A. (2012). Los efectos del cadmio en la salud. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, *17*(3), 199–205.

INEN-CODEX, N. (2015). Norma general para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos. Codex Stan 193-1995 (Enmienda 2015). *Normas Internacionales de Los Alimentos*, 62. https://www.fao.org/input/download/standards/17/CXS_193s_2015.pdf

Jornet, J. . (2014). Prueba "t" de Student. *Universidad de Valencia: Grupo de Innovación Educativa*, 1–5. https://www.scientific-european-federation-osteopaths.org/wp-content/uploads/2019/01/Prueba-t-de-Student.pdf

Juárez Iglesias, Manuela; Anadón Navarro, Arturo; Cacho Palomar, Juan Fransico; Colombo Rodríguez, M. V. (2009). Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) relativo a la evaluación del riesgo asociado a la posible presencia de arsénico en algas desti- nadas al consumo humano. *Revista Del Comité Científico*, 1–7.

Lema, I. I. (2003). La evaluación de riesgo por sustancias tóxicas. *Gaceta Farmacológica*, *69*, 45–56. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53906903

Medina-Pizzali, M., Robles, P., Mendoza, M., & Torres, C. (2018). Ingesta de arsénico: el impacto en la alimentación y la salud humana. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, *35*(1), 93. https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.351.3604

Mora, E., & Moreno, J. (2008). Estado de la pesquería del recurso concha (Anadara tuberculosa y A. similis) en la costa ecuatoriana. *Instituto Nacional de Pesca*, 15 pp. http://institutopesca.gob.ec/wp-content/uploads/2017/07/Situación-del-Recurso-Concha.pdf

PRADO-CARPIO, E. C., MARTINEZ-SOTO, M. E., RODRIGUEZ-MONROY, C., QUIÑONEZ-CABEZA, M., & OLIVO-GARRIDO, M. L. (2021). Biología, productividad y atributos comerciales del molusco bivalvo «concha prieta» (Anadara tuberculosa). *Espacios*, *42*(22), 12–32. https://doi.org/10.48082/espacios-a21v42n22p02

Quazi, S., Sarkar, D., & Datta, R. (2004). Lead and its Health Effects. *Water Encyclopedia*, *8*(3), 432–440. https://doi.org/10.1002/047147844x.wq426

Recoba, A., & Ramos, G. (2022). *Acumulación de metales pesados en especies nativas del género Anadara sp. y en sedimentos de los manglares de Tumbes*. 1–19. https://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12866/11450/Acumulacion_RecobaGarcia_Alvaro.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Reglamento (CE) 1881/2006. (2008). *Contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios*. *1999*(8), 1–18.

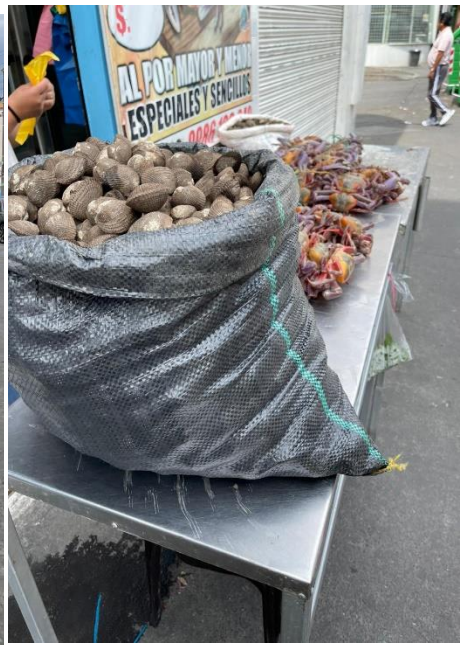
Rodríguez Heredia, D. (2017). Intoxicación por metales pesados. *Medisan*, *21*(12), 3372–3385. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30192017001200012

Santana, M., & Zambrano, L. (2022). *CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS MERCURIO Y PLOMO EN CONCHA PRIETA (Anadara tuberculosa) DEL REFUGIO DE VIDA SILVESTRE ISLA CORAZÓN Y FRAGATAS AUTORES*.

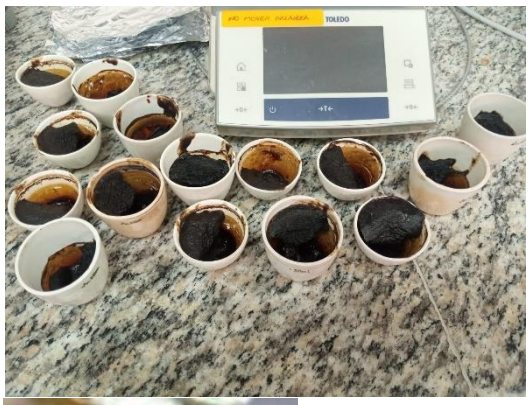
ANEXOS

Anexo 1. Zonas de muestreo



Anexo 2 Preparación de las muestras, proceso de digestión ácida y medición de concentraciones de metales por medio del equipo absorción atómica con horno de grafito







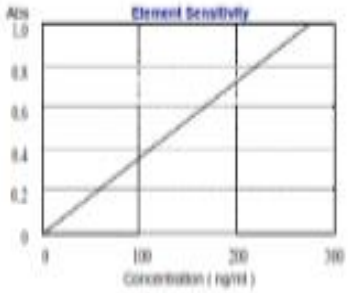

Anexo 3. Parámetros para la elaboración de la curva de la curva de Calibración de Ni y As.

Nickel

28
Ni

Analysis Parameters

Analytical Line:	232.0nm
Bandwidth:	0.2nm
Filter Factor:	0.1
Lamp Current:	4.0ma
Integration Time:	3.0sec
Background:	D2
Graphite Type:	Platform coated
Sample size:	10ul
Acidity:	0.1% Nitric
Sensitivity:	0.97ug/ml
Detection Limit:	0.57ug/ml
Working Range:	1.00 - 150.0ng/ml



Stage	Temp	Ramp	Hold	Int	Gas
1	80	5	10		high
2	110	10	15		high
3	800	15	10		high
4	2000	0	3	yes	off
5	2100	1	2		high

Standard Solution

Standard Solutions should be made up from stock solution of 1000mg/l. Dilutions should be Carried out in stages and acidified using Nitric Acid + 1% to avoid precipitation.
1000mg/l Standard solution: Part no.

Interferences

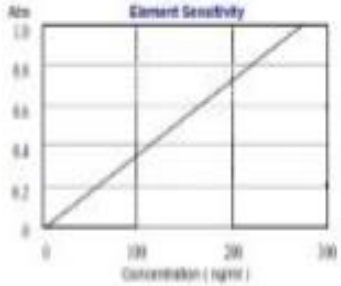
There are no major interferences with this element.

Arsenic

33
As

Analysis Parameters

Analytical Line:	193.7nm
Bandwidth:	0.4nm
Filter Factor:	0.1
Lamp Current:	5.0ma
Integration Time:	5.0sec
Background:	D2
Graphite Type:	Platform coated
Sample size:	10ul
Acidity:	0.1% Nitric
Sensitivity:	22.50ug/ml
Detection Limit:	17.15ug/ml
Working Range:	5.00 - 200ng/ml



Stage	Temp	Ramp	Hold	Int	Gas
1	80	5	10		high
2	110	10	15		high
3	1200	15	15		high
4	2000	0	3	yes	off
5	2100	1	2		high

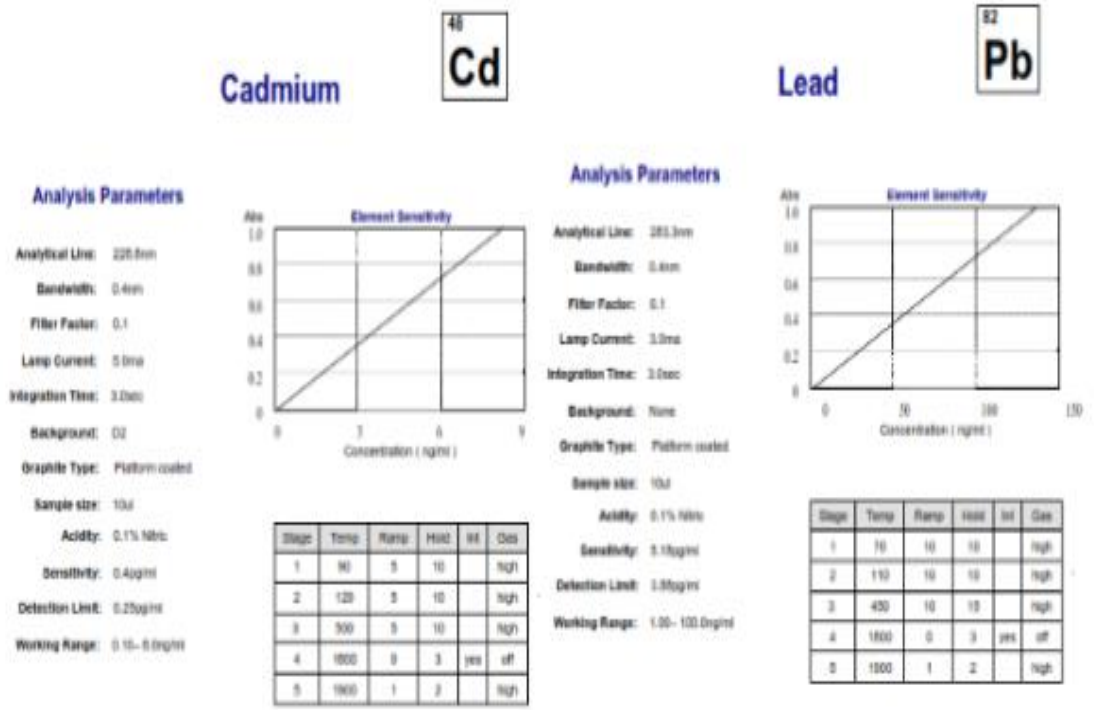
Standard Solution

Standard Solutions should be made up from stock solution of 1000mg/l. Dilutions should be Carried out in stages and acidified using Nitric Acid + 1% to avoid precipitation.
1000mg/l Standard solution: Part no.

Interferences

A matrix modifier should be added to the solutions to act as releasing agent. 3Oug/ml of Nickel Nitrate can be made up as the matrix modifier. Palladium can be also used as a modifier but the ashing temperature should be increased by approximately 250°c

Anexo 4. Parámetros para la elaboración de la curva de calibración de Cd y Pb



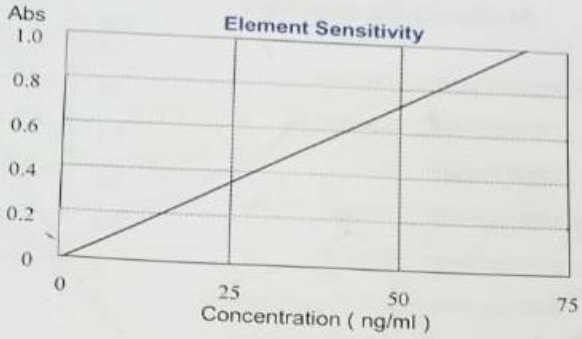
Anexo 5. Parámetros para la elaboración de la curva de calibración de Cr.

Chromium

24
Cr

Analysis Parameters

Analytical Line: 357.9nm
Bandwidth: 0.4nm
Filter Factor: 0.1
Lamp Current: 5.0ma
Integration Time: 3.0sec
Background: None
Graphite Type: Platform coated
Sample size: 10ul
Acidity: 0.1% Nitric
Sensitivity: 3.55pg/ml
Detection Limit: 2.42pg/ml
Working Range: 0.50– 50ng/ml



Stage	Temp	Ramp	Hold	Int	Gas
1	70	10	10		high
2	100	10	10		high
3	800	10	15		high
4	2100	0	3	yes	off
5	2200	1	2		high

Standard Solution

Standard Solutions should be made up from stock solution of 1000mg/l. Dilutions should be Carried out in stages and acidified using Nitric Acid > 1% to avoid precipitation.
1000mg/l Standard solution: Part no.

Interferences

A matrix modifier can be added to the solutions of 50ug/ml Magnesium Nitrate if required.