



Universidad de Guayaquil

**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIO A LA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE INGENIERO AMBIENTAL**

**TEMA:
CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN ALIMENTOS EN ECUADOR:
META-ANÁLISIS**

AUTOR: Braulio Nicolás Romero González

TUTOR: Beatriz Pernía Santos, Ph.D.

GUAYAQUIL, ABRIL 2020



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO V

RÚBRICA DE EVALUACIÓN TRABAJO DE TITULACIÓN

ASPECTOS EVALUADOS	PUNTAJE MÁXIMO	CALF.
Título del Trabajo: CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN ALIMENTOS EN ECUADOR: META-ANÁLISIS Autor(s): Braulio Nicolás Romero González		
ESTRUCTURA ACADÉMICA Y PEDAGÓGICA	4.5	4.5
Propuesta integrada a Dominios, Misión y Visión de la Universidad de Guayaquil.	0.3	0.3
Relación de pertinencia con las líneas y sublíneas de investigación Universidad / Facultad/ Carrera	0.4	0.4
Base conceptual que cumple con las fases de comprensión, interpretación, explicación y sistematización en la resolución de un problema.	1	0.5
Coherencia en relación a los modelos de actuación profesional, problemática, tensiones y tendencias de la profesión, problemas a encarar, prevenir o solucionar de acuerdo al PND-BV	1	0.5
Evidencia el logro de capacidades cognitivas relacionadas al modelo educativo como resultados de aprendizaje que fortalecen el perfil de la profesión	1	0.5
Responde como propuesta innovadora de investigación al desarrollo social o tecnológico.	0.4	0.4
Responde a un proceso de investigación – acción, como parte de la propia experiencia educativa y de los aprendizajes adquiridos durante la carrera.	0.4	0.4
RIGOR CIENTÍFICO	4.5	3
El título identifica de forma correcta los objetivos de la investigación	1	1
El trabajo expresa los antecedentes del tema, su importancia dentro del contexto general, del conocimiento y de la sociedad, así como del campo al que pertenece, aportando significativamente a la investigación.	1	1
El objetivo general, los objetivos específicos y el marco metodológico están en correspondencia.	1	1
El análisis de la información se relaciona con datos obtenidos y permite expresar las conclusiones en correspondencia a los objetivos específicos.	0.8	0.8
Actualización y correspondencia con el tema, de las citas y referencia bibliográfica	0.7	0.7
PERTINENCIA E IMPACTO SOCIAL	1	1
Pertinencia de la investigación	0.5	0.5
Innovación de la propuesta proponiendo una solución a un problema relacionado con el perfil de egreso profesional	0.5	0.5
CALIFICACIÓN TOTAL	10	8.5
* El resultado será promediado con la calificación del Tutor Revisor y con la calificación de obtenida en la Sustentación oral.		
** El estudiante que obtiene una calificación menor a 7/10 en la fase de tutoría de titulación, no podrá continuar a las siguientes fases (revisión, sustentación).		

Lic. Beatriz Perhía Santo, Ph.D.
No. C.I. 0960050102
Fecha: 06 de marzo del 2020


UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
Facultad de Ciencias Naturales
CERTIFICADO
GESTOR TITULACIÓN
6/3/2020



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL
UNIDAD DE TITULACIÓN

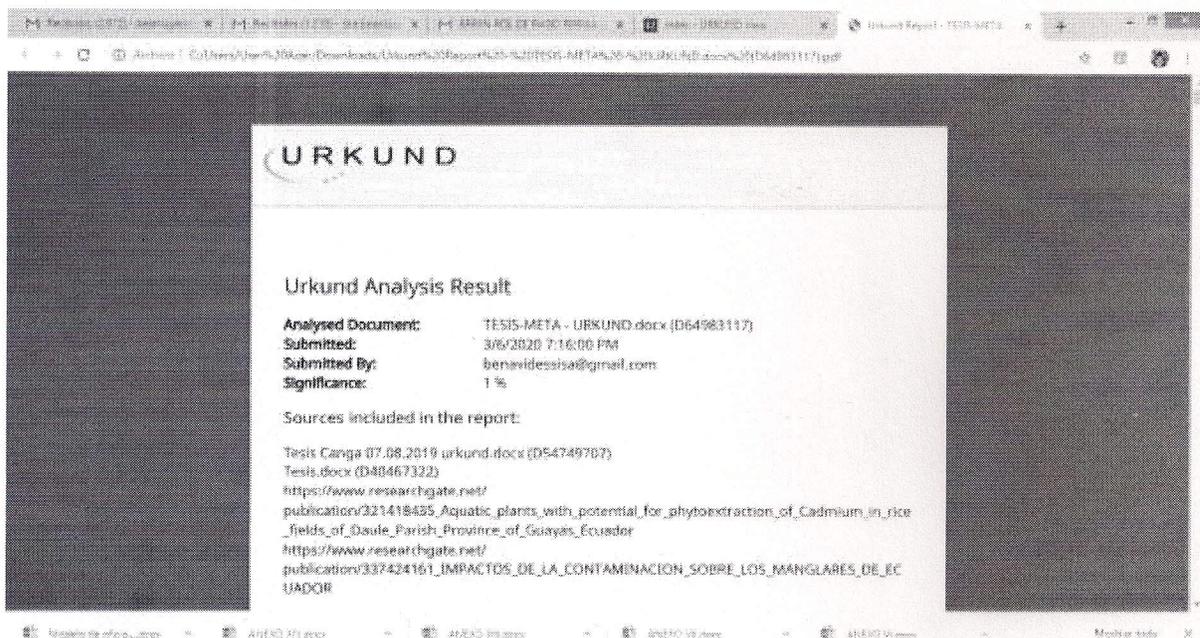


ANEXO VII

CERTIFICADO PORCENTAJE DE SIMILITUD

Habiendo sido nombrado Beatriz Pernía Santos, tutor del trabajo de titulación certifico que el presente trabajo de titulación ha sido elaborado por Braulio Nicolas Romero Gonzalez, con mi respectiva supervisión como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Ambiental.

Se informa que el trabajo de titulación: **CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN ALIMENTOS EN ECUADOR: META-ANÁLISIS**, ha sido orientado durante todo el periodo de ejecución en el programa antiplagio Urkund, quedando el 1% de coincidencia.



<https://secure.orkund.com/view/63001661-511934-472890>

Lic. Beatriz Pernía Santos, PhD.
C.I. 0960050102
Fecha: 06 de marzo del 2020





UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO VIII

Guayaquil, lunes 06 de abril de 2020

Señor Ingeniero

Vinicio Xavier Macas Espinosa, MSc.

DIRECTOR (E) DE LA CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL

FACULTAD CIENCIAS NATURALES

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el Informe correspondiente a la **REVISIÓN FINAL** del Trabajo de Titulación **CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN ALIMENTOS EN EL ECUADOR: META-ANÁLISIS** del estudiante **BRAULIO NICOLÁS ROMERO GONZÁLEZ**. Las gestiones realizadas me permiten indicar que el trabajo fue revisado considerando todos los parámetros establecidos en las normativas vigentes, en el cumplimiento de los siguientes aspectos:

Cumplimiento de requisitos de forma:

- El título tiene un máximo de 20 palabras.
- La memoria escrita se ajusta a la estructura establecida.
- El documento se ajusta a las normas de escritura científica seleccionadas por la Facultad.
- La investigación es pertinente con la línea y sublíneas de investigación de la carrera.
- Los soportes teóricos son de máximo 8 años.
- La propuesta presentada es pertinente.

Cumplimiento con el Reglamento de Régimen Académico:

- El trabajo es el resultado de una investigación.
- El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.
- El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.
- El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se indica que fue revisado, el certificado de porcentaje de similitud, la valoración del tutor, así como de las páginas preliminares solicitadas, lo cual indica que el trabajo de investigación cumple con los requisitos exigidos.

Una vez concluida esta revisión, considero que el estudiante está apto para continuar el proceso de titulación. Particular que comunicamos a usted para los fines pertinentes.

Atentamente,

Dr. Wilson Orlando Pozo Guerrero, PhD.

C.I. 0400440590

Fecha: lunes 06 de abril de 2020



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO XI



**REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y
TECNOLOGÍA**

FICHA DE REGISTRO DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN ALIMENTOS EN ECUADOR: META-ANÁLISIS		
AUTOR(ES) (apellidos/nombres):	BRAULIO NICOLÁS ROMERO GONZÁLEZ		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES) (apellidos/nombres):	WILSON ORLANDO POZO GUERRERO, PhD/ BEATRIZ MARGARITA PERNIA SANTOS PhD.		
INSTITUCIÓN:	UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL		
UNIDAD/FACULTAD:	CIENCIAS NATURALES		
MAESTRÍA/ESPECIALIDAD	INGENIERÍA AMBIENTAL		
GRADO OBTENIDO:	INGENIERO AMBIENTAL		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	ABRIL 2020	No. DE PÁGINAS:	95
ÁREAS TEMÁTICAS:	CIENCIAS AMBIENTALES		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Metales pesados, inocuidad alimentaria, arsénico (As), cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), América del sur		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):	<p>Los metales pesados pueden generar efectos adversos sobre la salud de los humanos y los alimentos han sido identificados como una de las principales fuentes de metales pesados en estos. En el presente estudio se realizó un meta-análisis de la contaminación de metales pesados (As, Cd, Hg, Pb) en los alimentos en Ecuador. Los resultados fueron comparados con estándares nacionales e internacionales. Las mayores concentraciones de metales pesados se presentaron en los alimentos de origen animal: <i>Gallus gallus domesticus</i>, <i>Ostrea columbiensis</i>, <i>Anadara similis</i> y <i>Sardinops sagax</i>, los mismos que se destacaron por sus elevadas concentraciones de As, Cd, Hg y Pb, respectivamente. Todos los grupos de alimentos analizados presentaron valores por encima de los LMP, esto es el 35% de alimentos animales, 25 % de alimentos vegetales y 13% de alimentos procesados, lo que indica que la población está expuesta a contaminarse con estos metales. Se realizó una propuesta para reducir los metales pesados en los alimentos.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: 0981821338	E-mail: brauliorgn@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	Nombre: Blga. Miriam Salvador Brito		
	Teléfono: 593 4 3080777		
	E-mail: info@fccnnugye.com miriam.salvadorb@ug.edu.ec		



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA **INGENIERIA AMBIENTAL**
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO XII

**LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO COMERCIAL DE LA
OBRA CON FINES ACADÉMICOS**

Yo, **BRAULIO NICOLÁS ROMERO GONZÁLEZ**, con C.I. No. **0932181795**, certifico que los contenidos desarrollados en este trabajo de titulación, cuyo título es **CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN ALIMENTOS EN ECUADOR: META-ANÁLISIS**, son de mi absoluta propiedad y responsabilidad, en conformidad al Artículo 114 del **CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN***, autorizo la utilización de una licencia gratuita intransferible, para el uso no comercial de la presente obra a favor de la Universidad de Guayaquil.

Braulio Romero G.

BRAULIO NICOLÁS ROMERO GONZÁLEZ
C.I. **0932181795**



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL
UNIDAD DE TITULACIÓN



RESUMEN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN (ESPAÑOL)

ANEXO XIII

CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN ALIMENTOS EN ECUADOR: META-ANÁLISIS

Autor: Braulio Nicolás Romero González

Tutor: Beatriz Pernía Santos, Ph.D.

Resumen

Los metales pesados pueden generar efectos adversos sobre la salud de los humanos y los alimentos han sido identificados como una de las principales fuentes de metales pesados en estos. En el presente estudio se realizó un meta-análisis de la contaminación de metales pesados (As, Cd, Hg, Pb) en los alimentos en Ecuador. Los resultados fueron comparados con estándares nacionales e internacionales. Las mayores concentraciones de metales pesados se presentaron en los alimentos de origen animal: *Gallus gallus domesticus*, *Ostrea columbiensis*, *Anadara similis* y *Sardinops sagax*, los mismos que se destacaron por sus elevadas concentraciones de As, Cd, Hg y Pb, respectivamente. Todos los grupos de alimentos analizados presentaron valores por encima de los LMP, esto es el 35% de alimentos animales, 25 % de alimentos vegetales y 13% de alimentos procesados, lo que indica que la población está expuesta a contaminarse con estos metales. Se realizó una propuesta para reducir los metales pesados en los alimentos.

Palabras Claves: Metales pesados, inocuidad alimentaria, arsénico (As), cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), América del sur



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL
UNIDAD DE TITULACIÓN



RESUMEN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN (INGLES)

ANEXO XIV

FOOD CONTAMINATION BY HEAVY METALS IN ECUADOR: META-ANALYSIS

Author: Braulio Nicolás Romero González

Advisor: Beatriz Pernía Santos, Ph.D.

Abstract

Heavy metal can cause adverse effects on human health. The food has been identified as the main route of exposure to heavy metals for human beings. The present meta-analysis considers the heavy metal pollution (As, Cd, Hg, Pb) in food in Ecuador. The results were compared with national and international standards. The highest heavy metal content was found in food of animal origin: *Gallus gallus domesticus*, *Ostrea columbiensis*, *Anadara similis*, and *Sardinops sagax*, the same that emphasize for their high concentrations of As, Cd, Hg, and Pb, respectively. All food groups studied presented values above permissible limits, which is 35% of animal foods, 25% of plant foods and 13% of processed foods, which indicates that the population is exposed to contamination with heavy metals. A proposal to reduce heavy metals in food was made.

Keywords: *Heavy metals, food safety, arsenic (As), cadmium (Cd), mercury (Hg), lead (Pb), South America*

DEDICATORIA

Para mis padres, que me han llevado con su esfuerzo hasta esta meta.

Para mi tío Agustín y mi familia.

AGRADECIMIENTO

A Dios.

A mi mami y a mi papi, sin ustedes no estuviera aquí, por la crianza que me brindaron, por esos momentos que pensé tirar la toalla, gracias.

A Raquel por acompañarme en momentos buenos y malos.

A mis amigos que he adquirido en estos años de universidad, en especial a Diana, Paola, Doménica, David, Ivan, Raquel, Josue, Ariana, gratos recuerdos me llevo de ustedes .

A las biólogas más pilas que me ha tocado conocer, Mariuxi Mero, mi tutora Beatriz Pernia, Ambar una ingeniera ambiental con alma de geóloga, por el apoyo y el cariño, gracias.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I.....	3
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.2 JUSTIFICACIÓN	5
1.3 OBJETIVOS	7
1.3.1 Objetivo general	7
1.3.2 Objetivos específicos	7
CAPITULO II.....	8
2.1 ANTECEDENTES	8
2.2 MARCO TEÓRICO.....	11
2.2.1 Metales pesados	11
2.2.2 Arsénico	12
2.2.3 Exposición al arsénico y efectos sobre la salud	13
2.2.4 Cadmio.....	14
2.2.5 Exposición al cadmio y efectos sobre la salud	15
2.2.6 Mercurio	16
2.2.7 Exposición al mercurio y efectos sobre la salud.....	18
2.2.8 Plomo	19
2.2.9 Exposición al plomo y efectos sobre la salud.....	20
2.3 MARCO LEGAL	22
CAPITULO III.....	24
3.1 METODOLOGÍA.....	24
CAPITULO IV	25

4.1	RESULTADO DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	25
4.2	CONCENTRACIÓN Y EVALUACIÓN DE METALES PESADOS EN LOS PRODUCTOS ALIMENTICIOS	25
4.2.1	Arsénico en productos alimenticios	25
4.2.2	Cadmio en productos alimenticios.....	29
4.2.3	Mercurio en productos alimenticios	37
4.2.4	Plomo en productos alimenticios.....	42
4.3	PROPUESTA DE MEDIDAS DE INOCUIDAD ALIMENTARIA	50
CAPITULO V		53
5.1	DISCUSIÓN	53
CAPITULO VI		64
6.1	CONCLUSIONES.....	64
6.2	RECOMENDACIONES	66
REFERENCIAS		67

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fuentes de cadmio.....	15
Tabla 2. Características de las formas de mercurio	17
Tabla 3. Afecciones a la exposición aguda y crónica del mercurio.	18
Tabla 4. Principales fuentes de exposición al plomo.....	19
Tabla 5. Sintomatología de intoxicación crónica por plomo	21
Tabla 6. Resumen de concentración de arsénico en vegetales.....	26

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Patologías por envenenamiento de arsénico en humanos.....	14
Figura 2. Concentración de arsénico reportadas en alimentos de origen animal. Símbolo representa el valor promedio. Asterisco (*) representa valores atípicos. LMP: Límite máximo permisible legislación MERCOSUR para pescado, moluscos bivalvos y menudencias comestibles (1 mg/kg).....	27
Figura 3. Distribución de arsénico en bivalvos en las provincias de Esmeraldas, Guayas y El Oro.....	28
Figura 4. Concentración de cadmio reportadas en alimentos vegetales. Símbolo representa el valor promedio. Asterisco (*) representa valores atípicos. LMP1: Límite máximo permisible CODEX FAO-OMS para arroz (0,4 mg/kg). LMP2: Límite máximo permisible CODEX FAO-OMS para hortalizas (0,05 mg/kg).....	30
Figura 5. Concentración de cadmio reportadas en alimentos de origen animal. Símbolo representa el valor promedio. Asterisco (*) representa valores atípicos. LMP1: Límite máximo permisible CODEX UE para bivalvos (1 mg/kg). LMP2: Límite máximo permisible CODEX UE para pescados (0,05 mg/kg).....	31
Figura 6. Distribución de cadmio en bivalvos en las provincias de Esmeraldas, Guayas y El Oro.....	34
Figura 7. Concentración de cadmio reportadas en productos alimenticios procesados. Símbolo representa el valor promedio. Asterisco (*) representa valores atípicos. LMP: Límite máximo permisible Unión Europea para chocolate en polvo (0,6 mg/kg).....	36
Figura 8. Concentración de cadmio reportadas en alimentos de origen animal. Símbolo representa el valor promedio. Asterisco (*) representa valores atípicos. LMP: Límite máximo permisible CODEX UE para productos de pesca (0,5 mg/kg).	38
Figura 9. Distribución de mercurio en bivalvos en las provincias de Esmeraldas, Guayas y El Oro.....	39
Figura 10. Concentración de plomo reportadas en alimentos de origen vegetal. Símbolo representa el valor promedio. Asterisco (*) representa valores atípicos. LMP: Límite máximo permisible CODEX UE para hortalizas de hoja (0,3 mg/kg).....	43
Figura 11. Concentración de plomo reportadas en alimentos de origen animal. Símbolo representa el valor promedio. Asterisco (*) representa valores atípicos. LMP1: Límite	

máximo permisible CODEX UE para bivalvos (1,5 mg/kg). LMP2: Límite máximo permisible CODEX UE para pescados (0,3 mg/kg).	46
Figura 12. Distribución de plomo en bivalvos en las provincias de Esmeraldas, Guayas y El Oro	47
Figura 13. Concentración de plomo reportadas en alimentos procesados. Símbolo representa el valor promedio. Asterisco (*) representa valores atípicos. LMP: Límite máximo permisible CODEX FAO-OMS para leche (0,02 mg/kg).	49

INTRODUCCIÓN

La contaminación por metales pesados ha generado un creciente interés en la inocuidad alimentaria a nivel local y global, ya que compromete seriamente la salud de las personas, la seguridad alimentaria y el ambiente (Reyes, Vergara, Torres, Díaz, & González, 2016). Los metales pesados son elementos que se encuentran presentes en la naturaleza de forma natural; sin embargo, el desarrollo industrial y actividades antropogénicas han aumentado su presencia en el medio.

Los metales pesados se constituyen como uno de los grupos más peligrosos debido a su persistencia en el ambiente, toxicidad, tendencia a acumularse en los organismos e ingresar a la cadena alimenticia, pero sobre todo, porque no se degradan (Ali, Khan, & Ilahi, 2019). Elementos como el arsénico, cadmio, mercurio y plomo han generado un gran interés debido su toxicidad y los efectos adversos que causan en la salud.

Estos elementos han sido clasificados como cancerígenos o posiblemente cancerígenos para el hombre (ATSDR, 1999, 2007b; FAO & OMS, 2011; Reyes et al., 2016), asociados a diferentes tipos de cáncer, entre ellos de piel, vejiga, hígado, pulmón y próstata (Cameán & Repetto, 2006). De manera general estos elementos producen afectaciones gastrointestinales, hematopoyéticos, neurológicos, renales, cardiovasculares, endócrinos, reproductivos y fetales., llegando a considerarse teratogénicos y mutagénicos (Flora & Agrawal, 2017; Rubio et al., 2004). Además, se asocian a enfermedades como hipertensión, diabetes, osteoporosis, depresión e insuficiencia renal (Abernathy, 2001; Bernhoft, 2013; Flora & Agrawal, 2017).

Muchas de estas enfermedades se han identificado en la lista de las principales causas de muerte en Ecuador del año 2018 (INEC, 2019).

La población en general está expuesta a estos elementos por el consumo de alimentos o agua contaminada (Abernathy, 2001; ATSDR, 1999, 2012). Los alimentos pueden contaminarse por metales pesados en las diferentes etapas de producción, desde el crecimiento hasta su consumo (Morgan, 1999).

Para proteger la salud de los efectos tóxicos que producen los metales pesados, es necesario realizar un monitoreo constante de la cadena alimentaria para determinar la bioacumulación y biomagnificación de estos elementos (Ali et al., 2019). Es por ello que es importante conocer las concentraciones de metales pesados en los productos alimenticios, lo que nos indicaría el riesgo a la salud como consecuencia del consumo de alimentos con altas concentraciones de metales pesados.

En el presente estudio se recopila información de la presencia de metales pesados en diferentes productos alimenticios del Ecuador, estableciéndose como línea base en el campo de toxicología alimentaria, con el fin de proponer medidas que aseguren la inocuidad y soberanía alimentaria; para proteger la salud de los consumidores y del ambiente.

CAPITULO I

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los metales pesados se definen como aquellos elementos cuya densidad es superior a $4,5 \text{ g/cm}^3$. Son elementos químicos peligrosos con características de persistencia, bioacumulación, biotransformación, y elevada toxicidad, difíciles de degradar por lo que su incidencia suele prolongarse por décadas (Rodríguez Heredia, 2017). Estos metales presentan alto peso atómico y se ha descrito que inclusive en bajas concentraciones pueden ser perjudiciales para el ser humano (Sankhla, Kumari, Nandan, Kumar, & Agrawal, 2016).

Estos metales se presentan de forma natural en bajas cantidades, sin embargo el desarrollo industrial ha incrementado la presencia de los metales pesados en el ambiente (Cameán & Repetto, 2006). A nivel antropogénico, la contaminación por estos elementos es una problemática que ha surgido por el crecimiento demográfico, contaminación industrial y minera, el uso excesivo de fertilizantes a nivel global, llegando hacia los humanos mayormente por la ingesta de agua o alimentos contaminados (Mite, Carrillo, & Durango, 2010).

Los metaloides y metales identificados por su alta toxicidad son el arsénico (As), el cadmio (Cd), el mercurio (Hg) y el plomo (Pb), ya que producen una serie de afectaciones al ser humano. En el caso del As, estudios epidemiológicos muestran que el aumento en su incidencia genera riesgo de cáncer de piel, pulmón, hígado y sistemas hematopoyéticos (Rodríguez Heredia, 2017). Por otro lado, el Cd en exposiciones prolongadas se relaciona con la disfunción renal, diabetes, hipertensión, enfermedades pulmonares (se le ha relacionado con el cáncer de pulmón), mutagénesis y teratogénesis (Flora & Agrawal, 2017; Jacobo-Estrada, Santoyo-Sánchez, Thévenod, & Barbier, 2017; Järup, 2002) y puede provocar osteoporosis en humanos y animales (Rodríguez Heredia, 2017).

El Hg, causa temblores, hipertrofia de tiroides, taquicardia, gingivitis, cambios en la personalidad, pérdida de memoria, depresión severa, delirios y alucinaciones, ataxia, pérdida de visión y audición, espasmos y finalmente coma y muerte (Londoño

Franco, Londoño Muñoz, & Muñoz Garcia, 2016). Las exposiciones crónicas a este elemento han evidenciado efectos carcinogénicos, teratogénicos, aumento de abortos y disfunción de tiroides (Gaioli, Amoedo, & Gonz, 2012).

Por otro lado, el Pb afecta la síntesis de hemoglobina, la función renal, el tracto gastrointestinal, las articulaciones y el sistema nervioso, también se asocia a infertilidad, anomalías congénitas, abortos y muerte neonatal (Flora & Agrawal, 2017). La intoxicación aguda se acompaña de alteraciones digestivas, dolores epigástricos y abdominales, vómitos, alteraciones renales y hepáticas, convulsión y coma (Reyes et al., 2016).

La presencia de metales pesados en alimentos ha traído un sin número de enfermedades al ser humano, estos al ser persistente permanecen en el organismo por varios años provocando efectos cancerígenos, mutagénicos y teratogénicos (Flora & Agrawal, 2017). Los síntomas y la severidad de estos efectos adversos, se relacionan con el tiempo de exposición, la cantidad, y la vía de entrada del metal (OMS, 2013).

Una de las principales razones de la contaminación por metales pesados en alimentos son los suelos, que juegan un rol importante en la seguridad alimentaria, ya que determinan la posible composición de los alimentos o piensos desde la base de la cadena alimenticia (Tóth, Hermann, Da Silva, & Montanarella, 2016).

En Ecuador existe evidencia de la presencia de metales pesados en suelos agrícolas. En los cultivos de arroz de la cuenca baja de río Guayas se ha detectado la presencia de metales pesados como plomo con 4,35 mg/kg (Pozo, Sanfeliu, & Carrera, 2011), en tanto que el Cd y Pb evaluado en cultivo de arroz para Daule y Nobol sobrepasan los límites máximos establecidos en normativa nacional e internacional (Muñoz, 2017; Sinchi, 2019).

También se han encontrado altas concentraciones de Cd en los suelos de cultivo de cacao en diferentes provincias del Ecuador, identificándose concentraciones de 0,88 – 2,45 mg/kg Cd (Chavez et al., 2015; Mite et al., 2010).

En el suelo de cultivo de café también se encontró contaminación por plomo en Loja, con un promedio de 15,19 mg/kg (Viñan, 2019).

Al ser el Ecuador un país exportador de productos agrícolas, pecuarios y acuícolas o marinos. Por este motivo es fundamental conocer las concentraciones de metales pesados en los productos agrícolas, pecuarios y acuícolas, por cuanto dependen de su consumo y subsistencia, por este motivo, es necesario tener datos estadísticos que nos ayuden a tomar medidas para su mitigación en las zonas más afectadas.

1.2 JUSTIFICACIÓN

La constitución de la República del Ecuador establece en el artículo 281 numeral 13 que “es responsabilidad del estado el prevenir y proteger a la población del consumo de alimentos contaminados o que pongan en riesgo su salud o que la ciencia tenga incertidumbre sobre sus efectos” como medio para alcanzar la soberanía alimentaria.

La concentración de metales pesados en los alimentos varía dependiendo de diversos factores (el tipo de alimento, el tipo de suelo y su origen, sustancias utilizadas para su producción, entre otros). La presencia de estos contaminantes puede ser potencialmente peligroso para la salud, ya que se asocian a padecimientos de enfermedades como: diabetes, afecciones cardiovasculares, hipertensión, problemas hepáticos y diferentes tipos de cáncer.

Es importante mencionar que las principales causas de muerte registradas en Ecuador para el año 2018 (INEC, 2019) fueron: enfermedades del corazón, diabetes mellitus, enfermedades cerebrovasculares, hipertensión, enfermedades del hígado, enfermedades relacionadas con cáncer de estómago, de tejido linfático, hematopoyético y afines. Lo que significa que podría existir una relación con la contaminación de metales pesados en los alimentos, significando un riesgo para la salud de los consumidores. Por lo cual es importante conocer el contenido de metales pesados en los alimentos comercializados en el país.

El presente trabajo se establece como estudio de línea base para investigaciones futuras sobre toxicología alimentaria, además plantea la necesidad de elaborar reglamentaciones nacionales tendientes asegure la soberanía alimentaria.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Realizar un meta-análisis de la contaminación por metales pesados en alimentos en el Ecuador con la finalidad de proponer medidas de inocuidad alimentaria y el cumplimiento de los límites máximos permisibles en los alimentos consumidos por la población.

1.3.2 Objetivos específicos

- Recopilar la información obtenida de artículos científicos y tesis de grado sobre la contaminación por metales pesados en alimentos en Ecuador.
- Evaluar los niveles de contaminación por metales pesados en los alimentos con la normativa nacional e internacional.
- Realizar una propuesta de medidas de inocuidad alimentaria y el cumplimiento de los límites máximos permisibles en los alimentos.

CAPITULO II

2.1 ANTECEDENTES

La contaminación por metales pesados es un tema de preocupación en el área de salud pública debido a que se pueden acumular en el organismo de las personas, sustancias tóxicas, carcinogénicos que se está estudiando la relación con gran variedad de enfermedades.

Existe un interés particular en estos elementos (metal o metaloide) por sus efectos nocivos para la salud, entre los que se incluyen: arsénico, cadmio, mercurio y plomo.

Los efectos adversos en la salud por consumo de alimentos contaminados con metales pesados se han evidenciado por todo el mundo. Los casos más relevantes se han producido en Japón, causando la enfermedad conocida como “Itai-itai” por el consumo de arroz contaminado con Cd y la enfermedad de Minamata por la intoxicación de peces con Hg (Ali et al., 2019; Ramírez, 2002; Reyes et al., 2016).

El As ha representado un problema de salud pública en países como Bangladesh, Argentina, Chile, China, India, México, Taiwán, Tailandia y los Estados Unidos dónde ha generado graves afectaciones a la población, relacionándose incluso con un incremento en la incidencia de cáncer de vejiga, pulmón y piel asociado con el consumo de agua contaminada (Oberoi, Barchowsky, & Wu, 2014; Smith, Lingas, & Rahman, 2000).

La intoxicación por Pb se conoce desde hace más de 2000 años con enfermedades conocidas como saturnismo (o plumbismo), provocado por almacenar alimentos en utensilios de plomo; incluso se ha relacionado estos padecimientos como causa de la caída del imperio Romano (Rubio et al., 2004; Selbst, 2001).

Cómo se ha establecido, la población en general se expone a estos elementos, principalmente mediante el consumo de agua o alimentos contaminados (Ali et al., 2019), por este motivo se han realizado investigaciones donde se ha encontrado As, Cd, Hg y Pb en diversos alimentos.

Estudios realizados en Grecia con muestras de vegetales (espinaca, puerro, repollo, lechuga, cebolla, coliflor, apio, remolacha, zanahoria y endivia) tomadas de suelos rurales e industriales mostraron el impacto causado por la actividad industrial en contaminación de estos alimentos por metales pesados (Fytianos, Katsianis, Triantafyllou, & Zachariadis, 2001).

Así mismo, estudios sobre el contenido de metales pesados (As, Cd, Pb) en diversas especies vegetales y frutas han determinado valores que superan las normativas nacionales e internacionales en China y Bangladesh. De los vegetales estudiados, se evidenció que los vegetales de hoja acumulan mayor cantidad de contaminantes, seguido por los vegetales de raíz, vegetales de tallo, vegetales de fruto y las legumbres (Islam, Ahmed, & Habibullah-Al-Mamun, 2015; Pan, Wu, & Jiang, 2016; Shaheen et al., 2016; Song, Zhuang, Jiang, Fu, & Wang, 2015; Sultana, Rana, Yamazaki, Aono, & Yoshida, 2017; Zhou et al., 2016).

En México se encontraron altas concentraciones de As en diferentes hortalizas, frutos, especias y plantas medicinales cultivados en huertos familiares de la localidad de Zimapán, la mayor concentración se manifestó en las hojas (Prieto et al., 2005).

Los productos alimenticios de origen marino han sido ampliamente estudiados, se ha determinado que los peces depredadores presentan grandes concentraciones de Hg, encontrándose hasta 11,4 mg/kg en el marlín (FAO & OMS, 2011). También se han encontrado concentraciones de Cd que superan el LMP en alimentos marinos, especialmente en bivalvos; en tanto que el As en peces se presenta con <5 mg/kg y en moluscos varía entre 1,2-26,2 mg/kg. También se han encontrado valores inusuales de Pb en estos alimentos extraídos de zonas contaminadas (Chiocchetti, Jadán-Piedra, Vélez, & Devesa, 2017).

Por otro lado, los estudios realizados en productos cárnicos se han evidenciado que el contenido de metales pesados es mayor en productos cárnicos cocinados y precocidos que los presentes en carne cruda (Wang et al., 2019); además se ha determinado la presencia de As, Cd y Pb en diversos órganos y carne de aves de corral (Hu, Zhang, Cheng, & Tao, 2017; Mahmoud & Abdel-Mohsein, 2015; Mohammed,

Kolo, & Geidam, 2013), así también el Pb se presenta sobre el LMP en carne de vaca (Hashemi, 2018; Nwidu & Ohemu, 2017).

En América Latina existe evidencia de contaminación de alimentos por metales pesados, así por ejemplo en Colombia se determinó la presencia de Cd en lentejas, frijoles y arroz de supermercados de Bogotá y plazas de Maizales, donde se presentaron valores por encima de LMP según el Codex Alimentarius; representando un riesgo para la población de niños entre los 3 y 4 años de edad (Méndez Fajardo, Lara Borrero, Moreno, & Ayala, 2007). Además, se ha reportado la presencia de As en cultivos de hortalizas y legumbres en Nariño (Londoño Franco et al., 2016).

En tanto que los metales pesados evaluados en carne de cerdo, pescado, pollo y res comercializados en mercados de Pamplona presentaron valores de Cd sobre el LMP ($> 0,05$ mg/kg) para res, pollo y cerdo, mientras que el Pb superó el LMP en carne de Res (0,84 mg/kg Pb) (Arrieta, Corredor, & Vera, 2015).

Por su parte, Queirolo et al. (2000) estudió el contenido de metales pesados en vegetales (haba, papa, maíz, cebolla, alfalfa) del norte de Chile, dónde obtuvo importantes concentraciones de Pb y Cd en la piel de la papa y el haba, y concentraciones extremas de As en maíz (1850 mg/kg) relacionada con la actividad volcánica.

El Servicio Nacional de Sanidad de Perú evidenció la presencia de arsénico y cadmio en los monitoreos de contaminantes químicos realizados en alimentos agropecuarios primarios de origen animal y vegetal (periodo 2011-2015) (Delgado-Zegarra, Alvarez-Risco, & Yáñez, 2018).

La información recopilada conformará el primer meta análisis de contaminación de metales pesados en alimentos debido a que no se encontraron estudios similares en Ecuador.

Las recopilaciones de información sobre estudios del contenido de metales pesados en alimentos conformarán la línea base para futuras investigaciones orientadas a la inocuidad alimentaria, debido a que no se encontraron estudios similares en Ecuador.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Metales pesados

Los metales pesados son elementos que se encuentran naturalmente en la naturaleza, tienen un elevado peso atómico y una densidad hasta 5 veces mayor que el agua (Londoño Franco et al., 2016). Los efectos tóxicos de estos elementos han sido documentados por años, se categorizan como contaminantes ambientales debido a sus efectos adversos sobre las plantas, animales y la salud a través de la cadena alimenticia (Katole, Kumar, & Patil, 2013).

Los metales son persistentes, es decir no pueden ser destruidos o degradados. Estos contaminantes, una vez ingresados a medios acuáticos, se transforman a través de procesos biogeoquímicos, distribuyéndose en forma de material particulado, coloidal o en especies disueltas (Londoño Franco et al., 2016; Martorell, 2010), pudiendo trasladar grandes distancias por acción del viento o a través de los cuerpos de agua (Ramírez, 2002).

Esta característica permite su permanencia en el ambiente durante cientos de años, pudiendo acumularse en los seres vivos (bioacumulación) y transferirse a través de la cadena alimenticia (biomagnificación); esta última depende del organismo, la tasa de acumulación y eliminación del metal y el tiempo de vida medio del metal en el organismo (Ali et al., 2019).

Por otro lado, las plantas tienden a acumular grandes cantidades de metales desde el suelo, siendo la principal fuente de ingreso a la cadena alimentaria. La contaminación de estos metales en los cultivos de cereales y verduras puede ser muy grave y sus efectos tóxicos representan un riesgo a la salud humana (Cameán & Repetto, 2006; Orisakwe, Nduka, Amadi, Dike, & Bede, 2012).

En la actualidad la toxicidad de los elementos no se relaciona solamente con su concentración, movilidad, disponibilidad biológica y tiempo de exposición, sino que depende también de la forma química en que se encuentra (Caruso, Klaue, Michalke, & Rocke, 2003). Es así que, la forma inorgánica del arsénico es mucho más tóxica que las formas metiladas del mismo; por el contrario, la forma más tóxica del mercurio es el metilmercurio (Cameán & Repetto, 2006).

2.2.2 Arsénico

El arsénico (As) es un elemento que se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza, conformando cerca del $5 \times 10^{-4}\%$ de la corteza terrestre (Litter, 2018). Puede ser encontrado en el ambiente por causas naturales o actividad antropogénica (Medina Pizzali, Robles, Mendoza, & Torres, 2018).

El arsénico se presenta naturalmente en el suelo asociado a procesos geológicos como la meteorización de rocas parentales, especialmente aquellos minerales que poseen cobre, níquel hierro y plomo, o por emisiones volcánicas. Las fuentes antropogénicas principales son la minería, fundición de metales, fabricación de pesticidas, conservantes de madera y aditivos de piensos y productos farmacéuticos (ATSDR, 2007a; OMS, 2018).

El arsénico se manifiesta en cuatro estados de oxidación: As(V), As(III), As(0) y As(-III). Cuando se encuentra combinado con otros elementos como oxígeno, cloro y sulfuro se conoce como arsénico inorgánico; en los casos donde se combina con carbono e hidrógeno se conoce como arsénico orgánico. La mayoría de estos compuestos de arsénico son polvos blancos que no se evaporan, no tienen olor y no tienen ningún sabor especial; razón por la cual, generalmente no se puede saber si están presentes en alimentos, el agua o el aire (ATSDR, 2007a).

La toxicidad del arsénico depende de su forma química y varía de acuerdo a la especie y la ruta de administración. El arsénico orgánico es menos dañino y tóxico que el arsénico inorgánico (Lewis, 2007); en tanto que la forma trivalente es más tóxica que la forma pentavalente (FAO & OMS, 2011).

La mayoría de los compuestos arsenicales en organismos y en alimentos están en estado de oxidación pentavalente (Molin, Ulven, Meltzer, & Alexander, 2015). En tanto que en el agua se presenta en forma de arseniato y arsenito (10 veces más tóxica que el anterior), consideradas teratogénicas y genotóxicas en altas concentraciones (Arancibia, Sauma, Yañez, & Quezada, 2014; Litter, 2018)

2.2.3 Exposición al arsénico y efectos sobre la salud

El ser humano puede estar expuesto a los contaminantes ambientales por diferentes vías; en el caso del arsénico, los estudios sugieren que la exposición no ocupacional ocurre principalmente por medio de ingestión de agua o alimentos contaminados. La principal fuente de ingesta total del arsénico es la comida, excepto en áreas donde el agua potable contiene altos niveles de As (Abernathy, 2001).

El arsénico presente en el agua es mayor para aguas subterráneas que en aguas superficiales, llegando a encontrarse hasta 1000 ppb de As (ATSDR, 2007a). La exposición crónica de As en agua de consumo humano ha causado graves enfermedades, es así que fue reconocido como carcinogénico Grupo 1 por la OMS (Organización Mundial de la Salud) debido a la relación confirmada entre la exposición a altas concentraciones de As en agua de consumo y el cáncer de piel (FAO & OMS, 2011).

De igual manera, estudios en productos alimenticios han demostrado que el arsénico se encuentra presente en todos los alimentos (Abernathy, 2001; FAO & OMS, 2011). La concentración de As varía dependiendo del tipo de alimento, condiciones de los cultivos (el suelo, el agua, actividad geoquímica, uso de pesticidas arsenicales) y el procesamiento de los mismos (Abernathy, 2001; Nachman et al., 2013).

Las mayores concentraciones de As se encuentran en los productos de pesca (pescados y mariscos), seguido por las carnes y granos; las frutas, verduras y lácteos tienen las menores concentraciones (Medina Pizzali et al., 2018). No obstante, las concentraciones más altas de As están presentes en el arroz y las algas marinas a nivel mundial (Lynch, Greenberg, Pollock, & Lewis, 2014).

El envenenamiento por As puede ser agudo o crónico (figura 1). La intoxicación aguda se produce por el consumo de una gran cantidad de As en un tiempo corto de exposición; en estos casos se producen síntomas gastrointestinales como dolor abdominal, vómito, diarrea, calambres, seguido por afectaciones a la piel (melanosis e hiperqueratosis), enfermedad del pie negro, daño en las respuestas motoras y sensoriales, entre otros (Muhammad, Camille, Nabeel Khan, Sana, & Natasha, 2018).

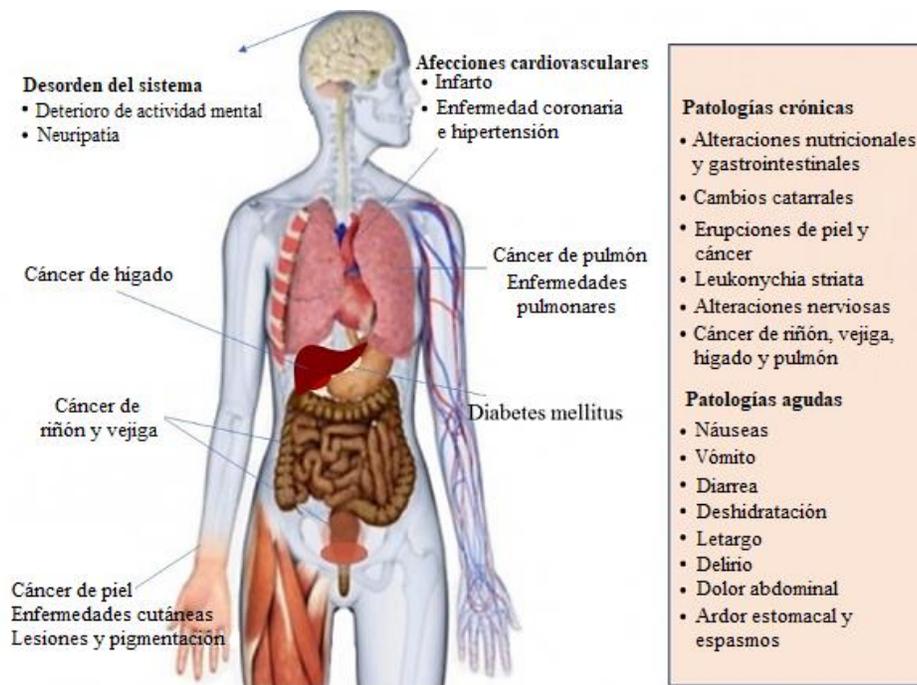


Figura 1. Patologías por envenenamiento de arsénico en humanos.
Fuente: Muhammad et al. (2018)

La ingesta crónica de arsénico producido por el consumo de agua y alimentos contaminados provoca una serie de problemas a la salud que ocasionan una patología denominada HACRE (Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico), sus afecciones incluyen problemas a la piel, diabetes, afecciones cardiovasculares, neurotoxicidad, e incluso incremento en la incidencia de cáncer de piel y órganos como esófago, hígado, estómago, pulmón, vejiga, próstata y colon (Villaamil Lepori, 2015).

2.2.4 Cadmio

El Cadmio (Cd) es un elemento no esencial que se encuentra naturalmente en la corteza terrestre en baja proporción, se encuentra en forma de óxidos, sulfuros y carbonatos de zinc, plomo y menas de cobre (ATSDR, 2012).

Se produce de forma natural en las rocas y tiene origen volcánico, pero su presencia en el ambiente se debe principalmente por acción antropogénica (ver tabla 1). Se produce como subproducto al fundir otros metales como zinc, cobre y plomo. Es ampliamente utilizado en la industria, por su característica anticorrosiva forma parte

de las baterías alcalinas, y se emplea como estabilizador de termoplásticos, en pigmentos, pinturas, fertilizantes, entre otros (Bernhoft, 2013; Cameán & Repetto, 2006).

Tabla 1. Fuentes de cadmio

Antropogénicas	Naturales
Lodos residuales y estiércol	Actividad volcánica
Fertilizantes fosfatados y nitrogenados	Rocas
Industria de plateado y galvanizado	Incendios
Minería del cinc, cobre, plomo y otros metales	
Componentes electrónicos	
Baterías	
Industria de fundición de metales	
Incineración madera, carbón o plásticos	
Combustión de aceites y gasolina	
Industria de alimentos fosfatados para animales	

Fuente: Modificado de García, Esmeralda, Cruz, & Isabel (2012), Ramírez (2002)

El interés en el cadmio radica en que manifiesta cuatro de las características más temidas de un tóxico, esto es: tiene efectos adversos en el hombre y al ambiente, su bioacumulación, su persistencia en el ambiente y su capacidad de movilizarse a grandes distancias as través del agua y el viento (Ramírez, 2002).

2.2.5 Exposición al cadmio y efectos sobre la salud

Las principales fuentes de exposición del cadmio a la población general son la comida y el cigarrillo (ATSDR, 2012; Nava-Ruíz & Méndez-Armenta, 2011). El cadmio llega a los alimentos por el uso de fertilizantes, plaguicidas y de aguas contaminadas, fijándose en vegetales y productos animales; los niveles más altos se han encontrado en vegetales de hoja, granos, legumbres, también en pescados, crustáceos y el riñón e hígado de animales (Bernhoft, 2013; Cameán & Repetto, 2006; Ramírez, 2002).

El cadmio no es un elemento esencial para el desarrollo de las funciones del ser humano, es tóxico y se puede acumular ya que presenta una vida media de 10 a 30 años (García et al., 2012; Reyes et al., 2016). El órgano más afectado a exposición

crónica al cadmio es el riñón, pudiendo causar nefropatía cádmica (Cameán & Repetto, 2006; Reyes et al., 2016).

La exposición prolongada a este metal también puede causar enfermedades óseas. La relación se establece en Japón en los años 70's, dónde se reporta una enfermedad conocida como itai-itai (osteomalacia) debido a la presencia de Cd en el arroz y agua; la exposición al cadmio produjo osteoporosis, daño renal, enteropatía y anemia especialmente a mujeres postmenopáusicas (Cameán & Repetto, 2006; Järup, 2002).

En el caso de exposición por inhalación, las alteraciones respiratorias son rinitis, bronquitis o enfisema, que pueden derivar en enfermedad obstructiva crónica (Cameán & Repetto, 2006).

Otras patologías identificadas son: hipertensión arterial, diabetes, efectos cardiovasculares (Bernhoft, 2013; Satarug, Garrett, Sens, & Sens, 2010), disrupciones endócrinas relacionadas con cáncer de mama y endometrio (García et al., 2012), cáncer de próstata y pulmón (Cameán & Repetto, 2006; García et al., 2012), mutagénesis y teratogénesis (Flora & Agrawal, 2017; Jacobo-Estrada et al., 2017; Järup, 2002).

2.2.6 Mercurio

El mercurio (Hg) es un metal encuentra naturalmente en el ambiente y se presenta en varias formas. El mercurio se libera en procesos naturales por la erosión de rocas y erupciones volcánicas. Las actividades antropogénicas han aumentado hasta 6 veces el contenido de mercurio en el ambiente (ATSDR, 1999). Las principales fuentes antropogénicas provienen de la quema de combustibles fósiles, la minería y la fundición. Otras fuentes de mercurio son: industrias cloroalcalinas de fabricación del papel, instrumental médico, focos fluorescentes, termostatos, amalgamas dentales, fertilizantes, fungicidas y residuos sólidos urbanos (Cameán & Repetto, 2006; Rodríguez Heredia, 2017).

Las 3 principales formas químicas del mercurio son: mercurio elemental, mercurio inorgánico y mercurio orgánico (Tabla 2). El mercurio elemental se caracteriza por su apariencia líquida de color blanco-plateado a temperatura ambiente, se pueden generar vapores de mercurio que son inodoros e incoloros (ATSDR, 1999).

Cuando el mercurio se combina con elementos como azufre, el cloro y el oxígeno se forman los compuestos inorgánicos llamados sales de mercurio. Por otro lado, el mercurio orgánico se forma con la unión del mercurio con el carbono produciendo compuestos organomercuriales, el más común se conoce como metilmercurio (ATSDR, 1999; Cameán & Repetto, 2006). Este último es la forma más tóxica de mercurio, puede ingresar fácilmente en la cadena alimenticia, tiene la capacidad de bio-acumularse en los seres vivos (Reyes et al., 2016).

Tabla 2. Características de las formas de mercurio

	Elemental (Hg⁰)	Sales inorgánicas (Hg²⁺)	Metilmercurio (CH³ Hg⁺)
Fuentes de exposición	Amalgamas dentales, exposición laboral	Oxidación de Hg ⁰ , desmetilación de CH ³ Hg ⁺	Consumo de pescado
Vía principal de exposición	Inhalatoria	Oral	Oral
Órgano diana principal	Sistema nervioso central	Riñón	Sistema nervioso central
Sintomatología clínica sistémica			
Riñón	Proteinuria	Proteinuria, necrosis tubular	
Sistema nervioso central	Eretismo, temblores		Parestesia, ataxia, pérdida visual y
Sistema nervioso periférico	Neuropatía periférica	Acrodinia	auditiva
Vida media aproximada	58 días	1-2 meses	70-80 días

Fuente: Cameán & Repetto (2006). Extraído de Clarkson et al. (2003) y de Counter y Buchanan (2004).

2.2.7 Exposición al mercurio y efectos sobre la salud

La mayor exposición no laboral del mercurio se procede casi totalmente de los alimentos, especialmente el pescado y los mariscos; también se puede encontrar en el arroz (ATSDR, 1999; Cameán & Repetto, 2006).

La mayor afectación por exposición del mercurio se produce en el sistema nervioso, puede afectar el desarrollo del cerebro en el feto, también presenta alteraciones en el sistema cardiovascular; ha sido clasificado en el grupo 2B posiblemente cancerígenos para el hombre (ATSDR, 1999; Reyes et al., 2016). Las sintomatologías a exposiciones agudas y crónicas de este metal se detallan en la tabla 3.

Tabla 3. Afecciones a la exposición aguda y crónica del mercurio.

Exposición aguda	Exposición crónica
Mercurio inorgánico	
Respiratorios: neumonitis química, edema agudo de pulmón, bronquiolitis necrosante, insuficiencia respiratoria y muerte.	Neurológicos: alteraciones neuropsiquiátricas como ataques de pánico, ansiedad, labilidad emocional, trastornos de la memoria, insomnio, anorexia, fatiga, disfunción cognitiva y motora.
Renales: síndrome nefrótico, necrosis tubular e insuficiencia renal.	Tiroideos.
Cardiovasculares: hipertensión arterial, taquicardia e insuficiencia cardíaca.	Carcinogénicos.
Gastrointestinales: produce sabor metálico en la boca, salivación, disfagia, náuseas, diarrea.	Reproductivos: aumento en la frecuencia de abortos y dismenorrea.
Dermatológicas: acroдинia con escamación de palmas y plantas, hiperhidrosis, prurito, exantema y artralgias. Relacionado con hipersensibilidad al Hg.	
Neurológicos: alteraciones cognitivas, sensoriales, motoras y neuroconductuales.	
Mercurio orgánico	
Neurológicos: puede presentarse con parestesias, ataxia, sordera, alteraciones	Neurológicos: afectación principalmente a infantes y fetos.
	Teratogénico

visuales, temblores, espasticidad muscular y muerte.	Cardiovascular: enfermedades cardiovasculares. Asociado a hipertensión arterial infantil.	incremento de
Renales: necrosis tubular aguda y glomerulonefritis, y evolucionar a la insuficiencia renal.	Carcinogénico.	

Fuente: (Gaioli et al., 2012)

2.2.8 Plomo

El plomo (Pb) es un metal tóxico presente de forma natural en la corteza terrestre, su forma más abundante es el sulfuro. Se presenta asociado a otros metales, como plata, cobre, zinc, hierro y antimonio (Arancibia et al., 2014). El plomo ha sido utilizado desde la antigüedad por el hombre, por lo que sus principales fuentes son producto de actividades antropogénicas.

Las emisiones de plomo debido al tráfico ha sido la principal fuente ambiental, ya que era utilizado como aditivo en la gasolina; en la actualidad se está suprimiendo su utilización (Cameán & Repetto, 2006). Otras fuentes son la actividad minera, metalurgia, pinturas, baterías, tuberías y otros productos de uso cotidiano (Tabla 4).

Tabla 4. Principales fuentes de exposición al plomo

Procesos industriales	Tabaquismo/ alimentación	Agua potable	Fuentes domésticas
Baterías plomo-ácido, materiales de plomería, cables de revestimiento, pinturas, esmaltes y municiones, gasolina y sus aditivos, exposición ocupacional	Fumadores activos Alimentos contaminados con polvo, hortalizas en suelos contaminados (como minas o fundiciones)	Sistemas de plomería que contienen tuberías de plomo, soldaduras, accesorios o agua que ha estado en contacto con el plomo durante un período prolongado	Juguetes, medicinas tradicionales, cosméticos, pintura de las paredes de casas antiguas y polvo

Fuente: OMS, 2010 citado por Azcona-Cruz, Ramirez, & Vincente-Flores (2015)

El plomo ingresa a la cadena alimentaria por las plantas a través del suelo, donde se han encontrado concentraciones de 8 a 20 mg/Kg Pb en suelo de terrenos no cultivados, en tanto que en suelos cultivados y cercanos a fuentes de contaminación industrial pueden llegar a encontrarse más de 360 y 10 mg/kg Pb. Además tiene la característica de bioacumularse, siendo capaz de biomagnificarse hasta llegar al ser humano (Rubio et al., 2004).

2.2.9 Exposición al plomo y efectos sobre la salud

La exposición al plomo puede ocurrir por inhalación, ingestión de alimentos o agua contaminada y a través de la piel (ATSDR, 2007b). La mayor exposición al Pb en alimentos se da en pan y cereales, seguido por pescados y mariscos, la carne, vegetales y frutas (Cameán & Repetto, 2006). En la industria de alimentos la contaminación se produce en latas soldadas con plomo y en el envasado con materiales que contienen plomo o colorantes que los contienen (FAO & OMS, 2012).

Una vez dentro del organismo, el plomo se distribuye a los diferentes órganos (hígado, pulmón, riñón, cerebro y bazo) a través de la sangre, llegando a depositarse en el hueso donde puede acumularse de 20 a 30 años (Azcona-Cruz et al., 2015; Rubio et al., 2004; Sanin, González-Cossío, Romieu, & Hernández-Avila, 1998).

Los niños son más susceptibles a la exposición de plomo, absorben el 50% del plomo ingerido y los adultos el 10% (ATSDR, 2007b; Flora & Agrawal, 2017; Londoño Franco et al., 2016). Se ha evidenciado que afecta el desarrollo de los niños, provoca desórdenes neurológicos y conductuales, disminución del coeficiente intelectual y del aprendizaje, produce anemia, problemas estomacales, renales y cerebrales (Azcona-Cruz et al., 2015; Valdés & Cabrera, 1999).

Existe evidencia de que el plomo atraviesa la placenta y la barrera hematoencefálica, teniendo efectos adversos durante la gestación; se asocia a infertilidad (para ambos sexos), abortos, muerte fetal y neonatal, y produce anomalías congénitas (teratogenicidad) (Flora & Agrawal, 2017).

La intoxicación aguda del plomo presenta alteraciones digestivas, cólicos, anemia hemolítica, problemas hepáticos, insuficiencia renal, encefalopatía aguda y

neuropatía (Azcona-Cruz et al., 2015; Londoño Franco et al., 2016; Rubio et al., 2004). La intoxicación crónica se manifiesta de maneras muy variadas, descritas en la tabla 5.

Tabla 5. Sintomatología de intoxicación crónica por plomo

-
- **Gastrointestinales:** anorexia, dispepsia, estreñimiento, sabor metálico en la boca, dolor abdominal.
 - **Hematopoyéticos:** anemia, punteado basófilo.
 - **Neurológicos:** encefalopatía, muñeca caída o pie caído.
 - **Renales:** albuminuria, hematuria, cilindros en la orina.
 - **Cavidad oral:** ribete de Burton, estomatitis ulcerosa.
 - **Endocrinos y del sistema reproductor:** anormalidades del ciclo ovárico, infertilidad, aborto espontáneo, alteraciones en los espermogramas.
 - **Fetales:** macrocefalia, poco peso, alteraciones del sistema nervioso, tasa de mortalidad aumentada durante el primer año.
-

Fuente: Rubio et al., (2004)

El plomo se ha asociado también a enfermedades cardiovasculares e hipertensión en adultos e incluso Alzheimer (Rubio et al., 2004; Sanin et al., 1998). El plomo es catalogado en el grupo 2B, considerado probablemente cancerígeno según la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) (ATSDR, 2007b).

2.3 MARCO LEGAL

La Constitución de la República del Ecuador (2008) establece en el artículo 13 el derecho al acceso seguro y permanente a alimentos sanos, suficientes y nutritivos, así como el deber del Estado de proveer la soberanía alimentaria. Además, el art. 32 vincula el derecho a la salud, que debe garantizar el estado, con los derechos al agua, la alimentación, ambientes sanos y otros que sustenten el buen vivir.

En concordancia con lo anterior, la Ley Orgánica de Salud (2006) dispone que es responsabilidad del Ministerio de Salud Pública regular y realizar el control sanitario de los alimentos desde su producción, importación, distribución, almacenamiento, transporte, comercialización, dispensación y expendio de alimentos procesados, medicamentos y otros productos para uso y consumo humano.

La Constitución, en su capítulo tercero, reconoce la soberanía alimentaria como un objetivo estratégico en la región para asegurar que personas, comunidades y pueblos alcancen una autosuficiencia alimentaria, asegurando alimentación de calidad y de forma permanente. En el artículo 281, inciso 13 estipula como responsabilidad del Estado el prevenir y proteger a la población del consumo de alimentos contaminados que pongan en riesgo su salud o que se desconozcan sus efectos.

En conformidad con el capítulo descrito anteriormente, la Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria tiene como objeto establecer los mecanismos mediante los cuales el Estado cumpla con su obligación y objetivo estratégico de garantizar a las personas, comunidades y pueblos la autosuficiencia de alimentos sanos, nutritivos y culturalmente apropiados de forma permanente. Su ámbito comprende todos los factores de producción agroalimentaria, en todas sus fases, incluyendo todos los factores que intervengan en la producción y aquellas que defina el Régimen de Soberanía Alimentaria.

En el artículo 9 establece la responsabilidad del Estado de asegurar y desarrollar la investigación científica y tecnológica en materia agroalimentaria, que tendrá por objeto mejorar la calidad nutricional de los alimentos, la productividad, la sanidad alimentaria, así como proteger y enriquecer la agro-biodiversidad.

Así también se manifiesta que la sanidad e inocuidad alimentaria, en su capítulo IV, tiene propósito de promover una adecuada nutrición y protección de la salud de las personas; y prevenir, eliminar o reducir la incidencia de enfermedades que se puedan causar o agravar por el consumo de alimentos contaminados.

Sobre la normativa nacional, el Instituto Ecuatoriano de Normalización establece los requisitos que deben cumplir diferentes productos, incluyendo el contenido máximo de contaminantes. En caso de no definirse, se toma en cuenta la Norma Técnica NTE INEN-CODEX 193:2013, basado en el CODEX STAN 193-1995 (FAO & OMS, 1995) revisión del 2010, donde se determinan los límites máximos permisibles de contaminantes y toxinas presentes en los alimentos y piensos con objetivo de proteger la salud pública.

Otras normas utilizadas como referencias para el contenido máximo de contaminantes en alimentos son: el Reglamento (CE) N° 1881/2006: del contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios (Comisión Alimentaria Unión Europea, 2006), MERCOSUR/GMC/RES. N° 12/11 Reglamento Técnico MERCOSUR sobre Límites Máximos de Contaminantes Inorgánicos en alimentos (MERCOSUR, 2011).

CAPITULO III

3.1 METODOLOGÍA

Para la elaboración del presente trabajo se extrajo información sobre la contaminación por metales pesados en alimentos en Ecuador, de la base de datos Web of Science, Scopus, Researchgate, Google Scholar, revistas científicas, informes técnicos y tesis de grado disponibles en el Repositorio Digital de Bibliotecas de Ecuador.

Se seleccionaron 66 trabajos de investigación que cumplieron con el criterio de exclusión: Artículos científicos, tesis, informes, entre otros, cuyos análisis de laboratorio contaran con material de referencia o, en su defecto, realizadas por entidades certificadas. Obteniéndose una matriz de dimensión $n \times p$, donde n es el número total de localidades y p el número de variables referidas al tipo de alimento por categorías que clasificaron los alimentos como vegetal, animal y procesados y/o derivados de los anteriores, la concentración de metales pesados en mg/kg o mg/L, coordenadas geográficas de cada localidad y las referencias bibliográficas.

Se realizó un análisis descriptivo para cada variable, se calculó las medias, desviaciones estándar, máximos y mínimos por localidad y alimento. Todos los análisis y gráficas se realizaron usando el paquete estadístico Minitab versión 17.

Las coordenadas obtenidas fueron homogenizadas al sistema de coordenadas proyectadas UTM WGS 84 utilizando el programa Google Earth y, posteriormente, graficadas en mapas para la identificación de puntos críticos de contaminación por metales pesados utilizando el Programa ArcGIS.

Los resultados fueron comparados con normas nacionales e internacionales para límites máximos permisibles en alimentos como: normas INEN del Ecuador, Codex alimentario de la Organización Mundial de Salud (OMS) y FAO, la norma de la Unión Europea y el reglamento MERCOSUR.

CAPITULO IV

4.1 RESULTADO DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

En aplicación de la metodología se extrajo información sobre la contaminación por metales pesados en alimentos en Ecuador extraídos de bases de datos Web of Science, Scopus, Researchgate, Google Scholar, así como de revistas científicas, informes técnicos y tesis de grado disponibles en el Repositorio Digital de Bibliotecas. Con este esquema se logró cumplir los objetivos uno del presente trabajo, obteniéndose 73 alimentos clasificados según su origen como: animal, vegetal y procesados o derivados. Para cada clasificación se observó 35, 25 y 13 alimentos respectivamente.

4.2 CONCENTRACIÓN Y EVALUACIÓN DE METALES PESADOS EN LOS PRODUCTOS ALIMENTICIOS

4.2.1 Arsénico en productos alimenticios

Los estudios evidenciaron la presencia de arsénico en 15 vegetales. La mayor concentración se presentó en el fruto *Persea americana* (aguacate) con un promedio 19,76 mg/kg As registrado en la localidad de Izamba, cantón Ambato (Fiallos, 2017). El alimento con menor concentración de arsénico fue *Solanum tuberosum* (papa o patata) con 0,80 mg/kg As determinado por Castillo (2019) en dos haciendas del cantón Mejía, provincia de Pichincha.

Cabe destacar que todos los alimentos vegetales superan el límite máximo permisible (LMP) según la norma MERCOSUR (2011) para contaminantes inorgánicos, a excepción del arroz (Tabla 6). No obstante, *Oryza sativa* (arroz) presentó valores por encima del LMP en las provincias de El Oro, Guayas y Los Ríos; observándose la mayor concentración en el cantón Vinces con 0,95 mg/kg As (Moreno, 2018).

Tabla 6. Resumen de concentración de arsénico en vegetales.

Nombre científico	Nombre común	\bar{x}	Desvest	Máximo	Mínimo	LMP*
<i>Persea americana</i>	Aguacate	19,76	1,36	21,33	18,93	0,30
<i>Beta vulgaris</i>	Acelga	5,75	3,53	9,54	2,55	0,30
<i>Brassica oleracea</i> var. <i>botrytis</i>	Coliflor	4,89	1,62	6,28	3,11	0,30
<i>Apium graveolens</i>	Apio	4,58	0,60	4,95	3,88	0,20
<i>Brassica rapa pekinensis</i>	Nabo	4,08	0,55	4,54	3,47	0,20
<i>Allium fistulosum</i> L.	Cebolla blanca	3,93	2,24	5,56	1,38	0,30
<i>Rubus ulmifolius</i>	Mora	3,85	0,43	4,35	3,58	0,30
<i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i>	Col blanca	3,39	0,95	4,29	2,40	0,30
<i>Fragaria ananassa</i>	Fresa	3,05	1,84	5,17	1,94	0,30
<i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i> f. <i>rubra</i>	Col morada	3,01	1,20	4,13	1,74	0,30
<i>Solanum lycopersicum</i>	Tomate	2,74	1,16	3,58	1,42	0,10
<i>Spinacia oleracea</i>	Espinaca	2,16	1,27	3,57	1,12	0,30
<i>Lactuca sativa</i> L.	Lechuga	0,85	0,20	1,07	0,67	0,30
<i>Solanum tuberosum</i>	Papa	0,80	0,18	1,20	0,50	0,20
<i>Oryza sativa</i>	Arroz	0,23	0,16	0,95	0,00	0,30

Símbolo: promedio. Desvest: Desviación estándar. *Límites máximos permisibles establecidos por MERCOSUR.

Por otro lado, se reportó la presencia de arsénico en 12 alimentos de origen animal de los 20 estudiados por diferentes investigadores (Figura 2). Se identificó 5 alimentos que superaron el límite máximo permisible establecido por MERCOSUR (2011) para pescados, moluscos y menudencias comestibles de animales (1 mg/kg As). De manera que, la mayor concentración de arsénico se presentó en *Gallus gallus domesticus* (pollo) con 51,31 mg/kg As en peso húmedo, determinado por Naula (2012) en las localidades de Tumbaco y Quito, provincia de Pichincha.

Seguido por los peces *Thunnus obesus* (patudo) con 5,7 mg/kg, *Cynoscion phoxocephalus* (corvina) con 5,36 mg/kg y *Coryphaena hippurus* (dorado) con 3,63 mg/kg, adquiridos en varios mercados de Machala, provincia de El Oro (Senior, Cornejo-Rodríguez, Tobar, Ramírez-Muñoz, & Márquez, 2016). Finalmente, el bivalvo *Anadara similis* (concha macho, mica), presentó un promedio de 1,42 mg/kg As en el Estero Huaylá, provincia de El Oro (Tobar, Ramírez-Muñoz, Fermín, & Senior, 2017). Se debe añadir que, si bien, el valor promedio de *Anadara tuberculosa* (concha prieta, concha negra) no superó el LMP; se evidenciaron valores por encima del LMP en las

localidades de San Lorenzo y Muisne, provincia de Esmeraldas con un máximo de 2,1 y 1,9 mg/kg Cd, respectivamente (Mendoza, 2014); y en el Estero Huaylá con un máximo de 1,72mg/kg Cd (Tobar et al., 2017)..

Adicionalmente, la figura 3 presenta la distribución del contenido de As en bivalvos; donde se muestran los valores promedios por localidad. Las circunferencias de color amarillo son valores que no superan el LMP 1 mg/kg As (MERCOSUR, 2011) y las circunferencias de color rojo son todos los valores por encima de dicho límite. Se puede observar que las mayores concentraciones se presentaron en las provincias de El Oro y Esmeraldas, las que corresponden a la especie *Anadara similis* y *Anadara tuberculosa*. En tanto que en la provincia del Guayas el contenido de As en bivalvos no supera el límite máximo permisible.

Es preciso mencionar que, la información respecto al contenido de arsénico en bivalvos es escasa y se resume en 4 estudios realizados en localidades puntuales.

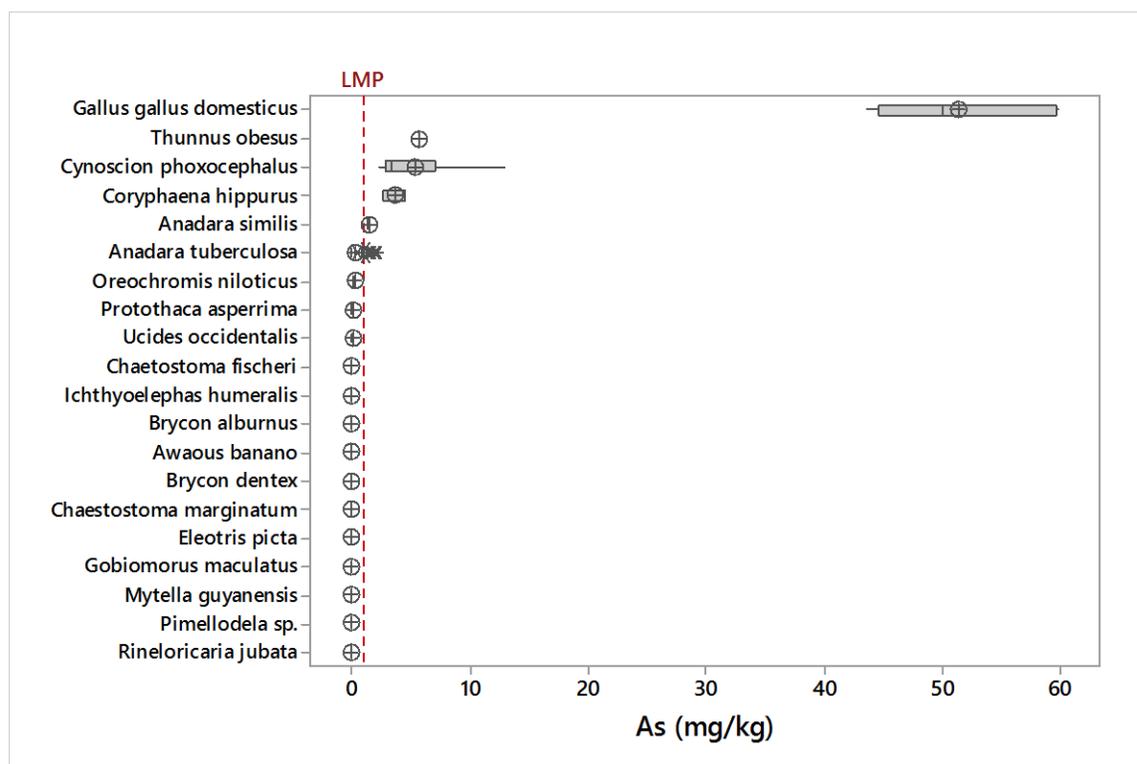


Figura 2. Concentración de arsénico reportadas en alimentos de origen animal. Símbolo representa el valor promedio. Asterisco (*) representa valores atípicos. LMP: Límite máximo permisible legislación MERCOSUR para pescado, moluscos bivalvos y menudencias comestibles (1 mg/kg).

Distribución de As en productos alimenticios (bivalvos) en Ecuador

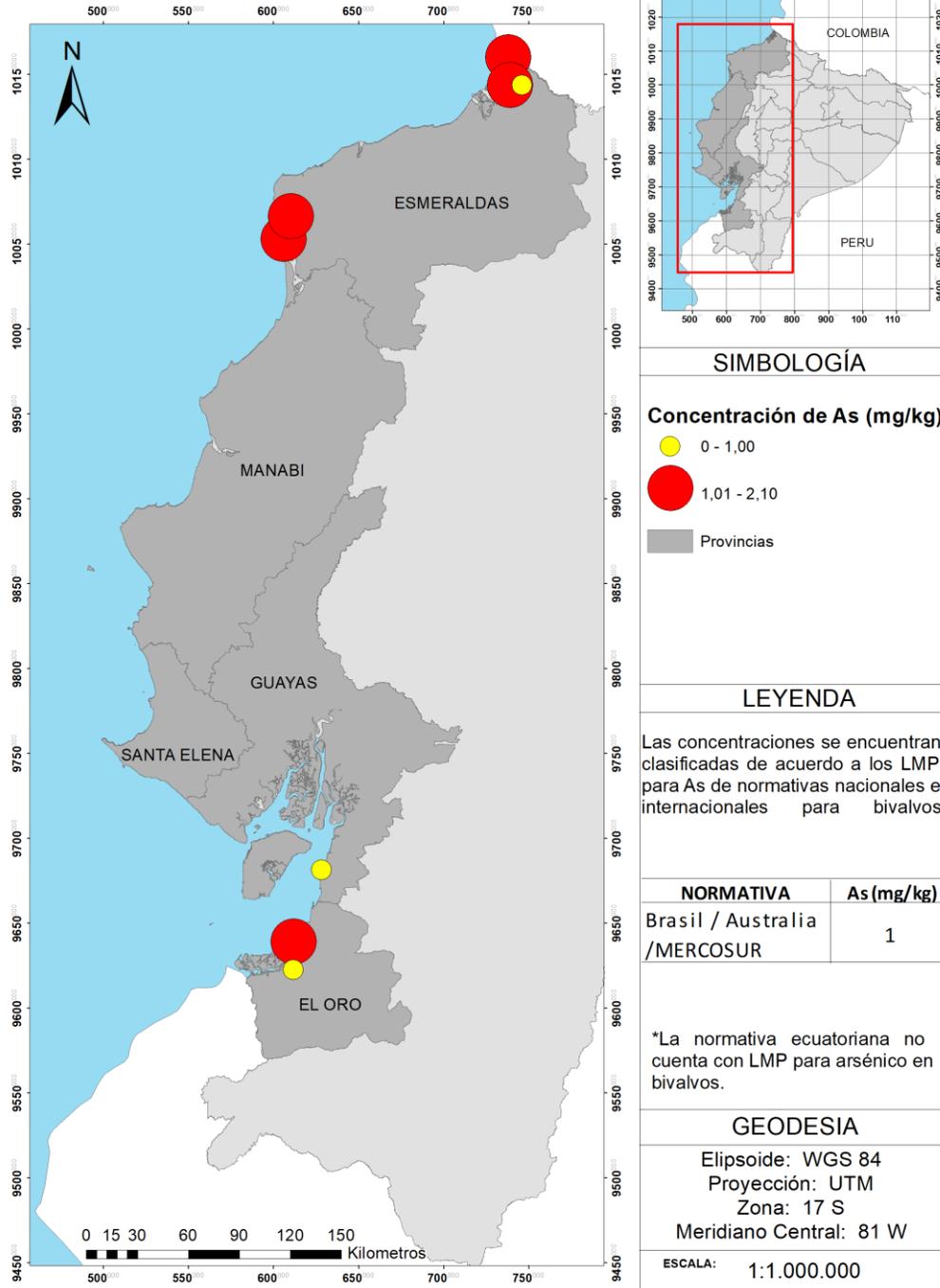


Figura 3. Distribución de arsénico en bivalvos en las provincias de Esmeraldas, Guayas y El Oro.

Los alimentos que no superaron el LMP según MERCOSUR fueron: *Oreochromis niloticus* (tilapia), *Protothaca asperrima* (almeja), *Ucides occidentalis* (cangrejo rojo), *Chaetostoma fischeri* (campeche), *Ichthyoelephas humeralis* (bocachico), *Brycon alburnus* (dama blanca), *Awaous banana* (baboso), *Brycon dentex* (sábalo), *Chaetostoma marginatum* (guaña), *Eleotris picta* (mongolo), *Gobiomorus maculatus* (cagua), *Mytella guyanensis* (mejillón), *Pimellodela sp.* (bagre o micuro), *Rineloricaria jubata* (mantequero).

En cuanto a los alimentos procesados, el contenido de arsénico en leche de vaca (Ayala Armijos & Romero Bonilla, 2013; Badillo, 2016) y miel de abeja (Condor, 2015) presentaron concentraciones promedio de 0,003 y 0,002 mg/kg As, respectivamente. Las mismas que no superaron el límite máximo permisible según MERCOSUR (2011) de 0,05 mg/kg As para leche y 0,3 mg/kg As para miel de abeja, y de lo establecido en la normativa canadiense (0,1 mg/kg) para bebidas listas para servir.

4.2.2 Cadmio en productos alimenticios

Los estudios determinaron la concentración de cadmio en 16 alimentos vegetales, 5 de los cuales superaron el LMP según Codex alimentario (FAO & OMS, 1995). La figura 4 muestra los vegetales estudiados en orden de mayor a menor concentración de cadmio; *Daucus carota* L. (zanahoria) presentó la mayor concentración con 9,71 mg/kg, obtenido en ferias orgánicas de Quito (Coronel, 2018). También se observaron altas concentraciones en *Solanum lycopersicum* L. (tomate) (2,21 mg/kg Cd) y *Lactuca sativa* L. (lechuga) (0,76 mg/kg Cd) analizados en Quito, similarmente ambos vegetales presentaron valores atípicos (7,31 y 14,61 mg/kg Cd para tomate) (9,39 y 18,77 mg/kg Cd para lechuga) en la feria orgánica (Coronel, 2018).

Por otro lado, el tubérculo *Solanum tuberosum* recolectado en cantón Mejía – Pichincha, obtuvo 0,32 mg/kg Cd (Castillo, 2019). En tanto que *Glycine max* L. presentó un valor de 0,14 mg/kg Cd en diferentes mercados de Guayaquil (López, 2017). Ambos superaron el LMP de 0,1 mg/kg Cd (FAO & OMS, 1995).

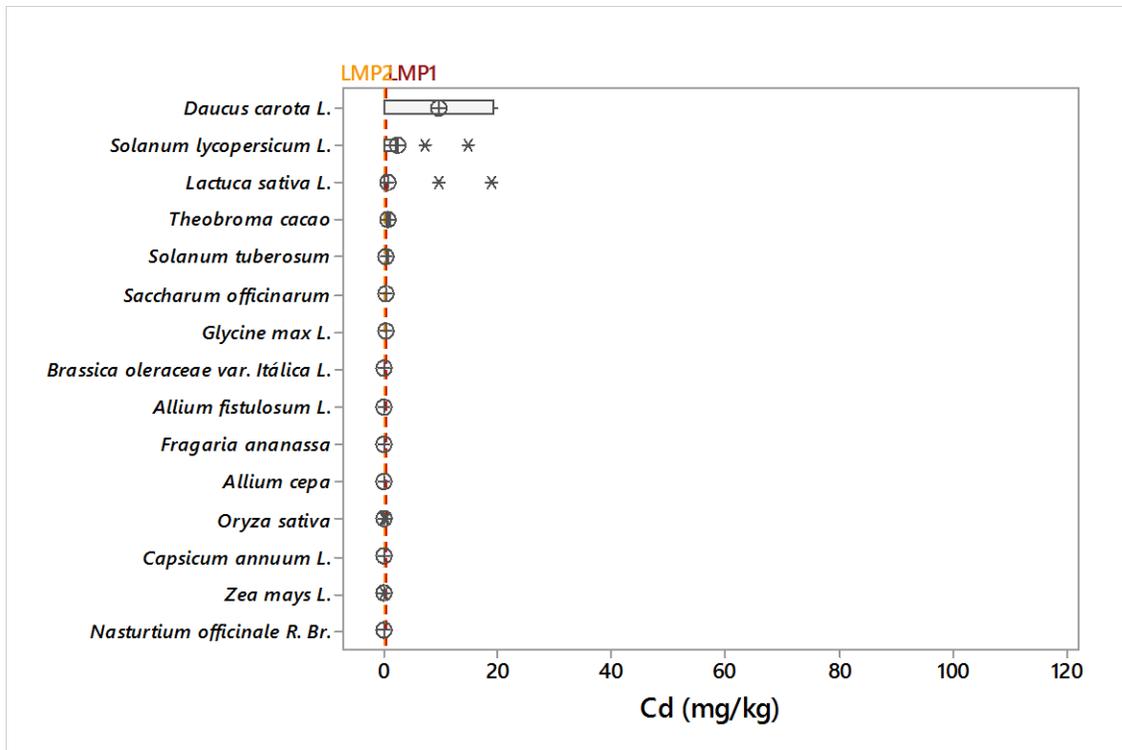


Figura 4. Concentración de cadmio reportadas en alimentos vegetales. Símbolo representa el valor promedio. Asterisco (*) representa valores atípicos. LMP1: Límite máximo permisible CODEX FAO-OMS para arroz (0,4 mg/kg). LMP2: Límite máximo permisible CODEX FAO-OMS para hortalizas (0,05 mg/kg).

A pesar de que *Theobroma cacao* presenta altos contenidos de cadmio (0,68 mg/kg), el Codex Alimentario no ha determinado el LMP para la almendra de cacao; sin embargo sobrepasa levemente el LMP determinado por la Unión Europea (2016) de 0,6 mg/kg Cd para cacao en polvo. De igual modo *Saccharum officinarum* no cuenta con valor de referencia en el Codex Alimentario según FAO & OMS (1995).

Los estudios evidencian que los siguientes alimentos vegetales presentan valores por debajo del LMP del Codex Alimentarius (FAO & OMS, 1995): *Brassica oleraceae* var. *itálica* L. (brócoli), *Allium fistulosum* L. (cebolla de rama), *Fragaria ananassa* (fresa), *Allium cepa* (cebolla), *Oryza sativa* (arroz), *Capsicum annuum* L. (pimiento), *Zea mays* L. (maíz) y *Nasturtium officinale* R. Br. (berro).

En lo que se refiere al contenido de cadmio en alimentos de origen animal, se realizó análisis en 25 diferentes alimentos, de los cuales 14 superaron el LMP establecido por Unión Europea (2016) (figura 5).

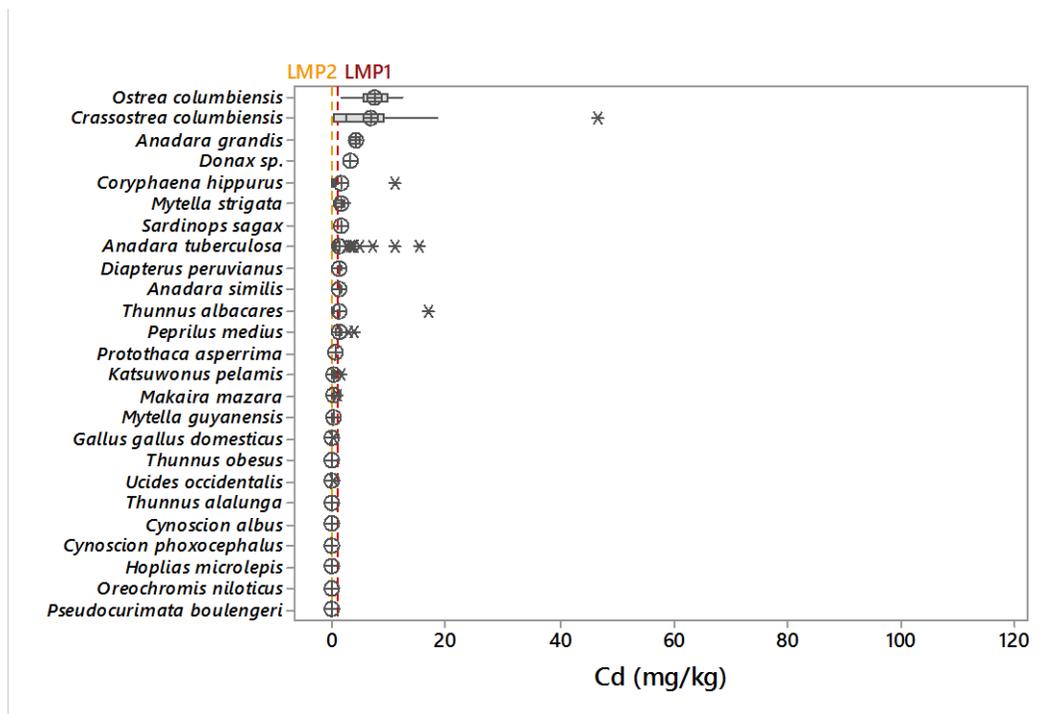


Figura 5. Concentración de cadmio reportadas en alimentos de origen animal. Símbolo representa el valor promedio. Asterisco (*) representa valores atípicos. LMP1: Límite máximo permisible CODEX UE para bivalvos (1 mg/kg). LMP2: Límite máximo permisible CODEX UE para pescados (0,05 mg/kg).

Cabe destacar que, de los 25 alimentos estudiados, el 76% son productos marinos y costeros. De los productos de origen marino los bivalvos presentaron la mayor concentración de Cd. Las concentraciones evidenciadas en bivalvos se describen de mayor a menor a continuación: el ostión *Ostrea columbiensis* (ostión), recolectado en diferentes esteros del golfo de Guayaquil, presentó un promedio de 7,50 mg/kg Cd (Mero, 2010); la ostra *Crassostrea columbiensis* (ostra) fue estudiada en diferentes localidades de la Provincia de El Oro (Castro, 2015) y en la ciudad de Guayaquil (Jimenez, 2012) obteniendo 6,89 mg/kg Cd en promedio, además se presentó un valor atípico en Puerto Hualtaco, Huaquillas – El Oro de 46,64 mg/kg Cd.

De igual manera, *Anadara grandis*, *Donax* sp. y *Mytella strigata* fueron estudiados en diferentes localidades y esteros del golfo de Guayaquil, reportándose valores de 4,01 - 3,25 - 1,59 mg/kg Cd, respectivamente (Arcos, Mero, Machuca, & Vera, 2009; Mero, 2010; Mero, Arcos, Egas, Siavichay, & Lindao, 2012).

En el caso del bivalvo conocido como concha prieta (*Anadara tuberculosa*) ha sido estudiado en diferentes localidades de las provincias de Esmeraldas (Arizaga & Lemos, 2016; Margarita Cedeño & Zambrano, 2017; Mendoza, 2014), Guayas (Carrasco & Webster, 2016; Mero, 2010) y El Oro (M. Ordoñez, 2015; Siguenza, 2016; Tobar et al., 2017) obteniendo un promedio de 1,26 mg/kg Cd; sin embargo se presentaron valores atípicos en Puerto Hualtaco (15,35 mg/kg Cd), Bajo Alto (10,910 mg/kg Cd) y el archipiélago de Jambelí (7,09 mg/kg Cd) ubicados en la provincia de El Oro (Ordoñez, 2015).

Así mismo, *Anadara similis* presentó un promedio de 1,22 mg/kg Cd en el Estero Huaylá, Puerto Bolívar – El Oro (Tobar et al., 2017). Por el contrario, la almeja *Protothaca asperrima* y el mejillón *Mytella guyanensis* recolectadas en la provincia del Guayas, no superaron el LMP establecido por la Unión Europea para moluscos bivalvos de 1 mg/kg Cd.

La distribución del contenido de Cd en bivalvos se muestra en la figura 6, los puntos amarillos representan los valores que están en norma, los puntos naranjas representan el intervalo de 1 a 2 mg/kg Cd que sobrepasan el LMP de la Unión Europea (1 mg/kg Cd) y los puntos rojos son todos los valores por encima de 2 mg/kg Cd, límite establecido en el Codex Alimentarius (FAO & OMS, 1995), Australia y MERCOSUR.

Empezando desde el norte, los valores reportados para la provincia de Esmeraldas corresponden a la especie *Anadara tuberculosa*, los mismos que no representan un peligro para la salud según lo dispuesto por la Unión Europea. De igual manera los estudios realizados en la ciudad de Guayaquil muestran una concentración promedio por debajo del límite permisible para todos los bivalvos estudiados.

Por otro lado, las concentraciones obtenidas en el golfo de Guayaquil presentan valores que superan el límite de 1 mg/kg Cd (Comisión Alimentaria Unión Europea, 2006) y el de 2 mg/kg Cd (FAO & OMS, 1995). La mayor concentración se presentó en *Ostrea columbiensis*, en las localidades de: Las Loras (8,24 mg/kg Cd), Chupadores chicos (8,02 mg/kg Cd), Las cruces (7,49 mg/kg Cd) y Chupadores grandes (6,25 mg/kg Cd) (Mero, 2010). Así mismo, en el cantón Balao se obtuvo altas concentraciones en *Anadara tuberculosa* con un promedio de 2,14 mg/kg Cd; además se analizó los bivalvos *Mytella guyanensis* y *Protothaca aspérrima*, los mismos que no superaron el LMP (Carrasco & Webster, 2016).

También se evidenció altas concentraciones en la provincia de El Oro, la mayor concentración se presentó en Puerto Hualtaco con 19,01 mg/kg Cd en *Crassostrea columbiensis* (Castro, 2015) y 6,64 mg/kg Cd en *Anadara tuberculosa* (M. Ordoñez, 2015); seguido por Puerto Jeli y Puerto Pitahaya con 8,60 y 6,73 mg/kg Cd respectivamente, estudiados en *Crassostrea columbiensis* (Castro, 2015). A su vez Puerto Jeli obtuvo 0,29 mg/kg Cd en *Anadara tuberculosa*, el mismo que no supera el LMP (Comisión Alimentaria Unión Europea, 2006).

En cuanto a las especies de pescado, los estudios muestran que las mayores concentraciones se presentaron en: *Coryphaena hippurus*, recolectado en las provincias de El Oro (Senior et al., 2016) y Manabí (Araújo & Cedeño-Macias, 2016), con un promedio de 1,68 mg/kg Cd; sin embargo obtuvo un valor atípico en Playita mía, Manta – Manabí con 11 mg/kg Cd. Así mismo, *Sardinops sagax* y *Diapterus peruvianus* estudiados en Estero Huaylá-Puerto Bolívar, ubicado en la provincia de El Oro, obtuvieron 1,50 y 1,25 mg/kg Cd respectivamente (Ortega, 2015); *Thunnus albacares* estudiado en Manabí (Araújo & Cedeño-Macias, 2016), Guayas y Santa Elena (Flores, Pozo, Pernía, & Sánchez, 2018) presentó un valor promedio de 1,17 mg/kg Cd y también se detectó un valor atípico de 17 mg/kg Cd en la Playita mía - Manabí.

Distribución de Cd en productos alimenticios (bivalvos) en Ecuador

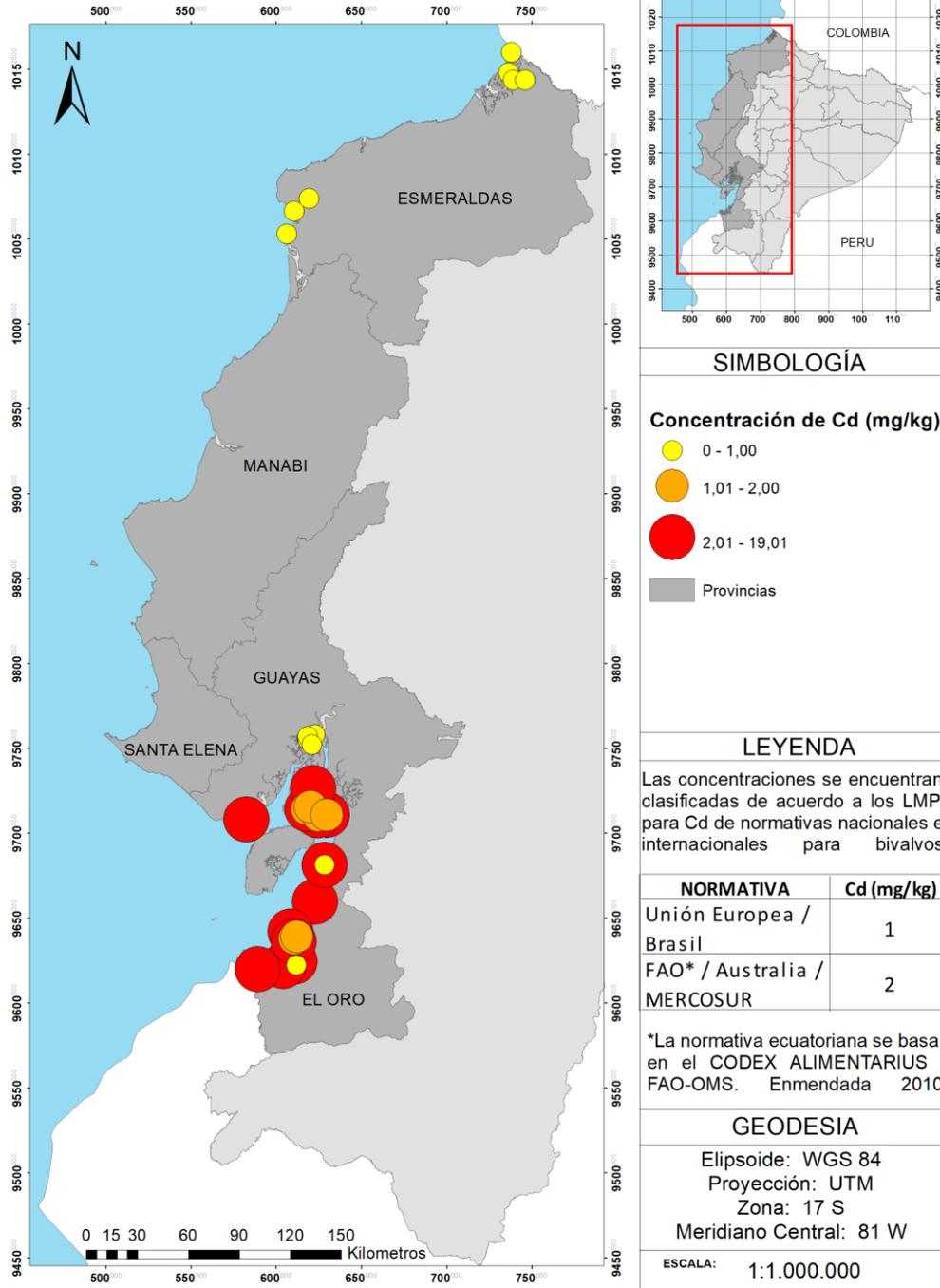


Figura 6. Distribución de cadmio en bivalvos en las provincias de Esmeraldas, Guayas y El Oro

El pez conocido como Pámpano (*Peprilus medius*) colectado en el puerto Santa Rosa - Santa Elena, presentó un valor promedio de 1,09 mg/kg Cd (Marcos Cedeño, 2016), seguido por *Katsuwonus pelamis* (0,22 mg/kg Cd) recolectado en el Mercado Caraguay de la ciudad de Guayaquil y Puerto Pesquero Santa Rosa en el cantón Salinas (Marcos Cedeño, 2016; Flores et al., 2018), finalmente *Makaira mazara* evidenció una concentración promedio de 0,20 mg/kg Cd en el Puerto Pesquero de Santa Rosa (Margarita Cedeño & Zambrano, 2017).

Las especies de pescado mencionadas con anterioridad superaron el límite máximo permisible de cadmio, determinador por la Unión Europea (2016) para carne de pescado de 0,05 mg/kg; 0,10 mg/kg para especies de atún, y 0,25 mg/kg para sardina.

La presencia de cadmio en *Gallus gallus domesticus* estudiado por Moscoso (2018) determinó los valores para la músculo (debajo del límite de detección de 0,014 mg/kg) y para hígado (0,06 mg/kg); los mismos que no superan los LMP de 0,05 mg/kg para carne y 0,50 mg/kg para hígado (Comisión Alimentaria Unión Europea, 2006).

Del mismo modo, los peces *Thunnus obesus*, *Thunnus alalunga*, *Cynoscion albus*, *Cynoscion phoxocephalus*, *Hoplias microlepis*, *Oreochromis niloticus* y *Pseudocurimata boulengeri* presentaron valores por debajo del LMP para peces descritos con anterioridad.

Los estudios realizados en alimentos procesados, evidenciaron la presencia de cadmio sobre el LMP en 4 de 11 alimentos analizados (Figura 7), es así que el queso fresco presentó las mayores concentraciones de Cd en un estudio realizado en la región costa (Provincias de Esmeraldas, Manabí, Santa Elena, Guayas, Los Ríos y El Oro) con un promedio de 3,94 mg/kg, llegando a cuantificarse hasta 122,54 mg/kg Cd en Chone-Manabí (Alejandro, 2014); este valor supera el LMP 0,50 mg/kg Cd (MERCOSUR, 2011) alarmantemente.

También se presentaron altas concentraciones en el chocolate en polvo (0,62 mg/kg Cd) que sobrepasa el LMP de 0,60 mg/kg Cd (Comisión Alimentaria Unión Europea, 2006), el estudio evidenció diferencias significativas en el contenido de Cd

relacionado con la marca estudiada llegando a reportar un valor de 1,44 mg/kg como máxima concentración (Sánchez, 2019).

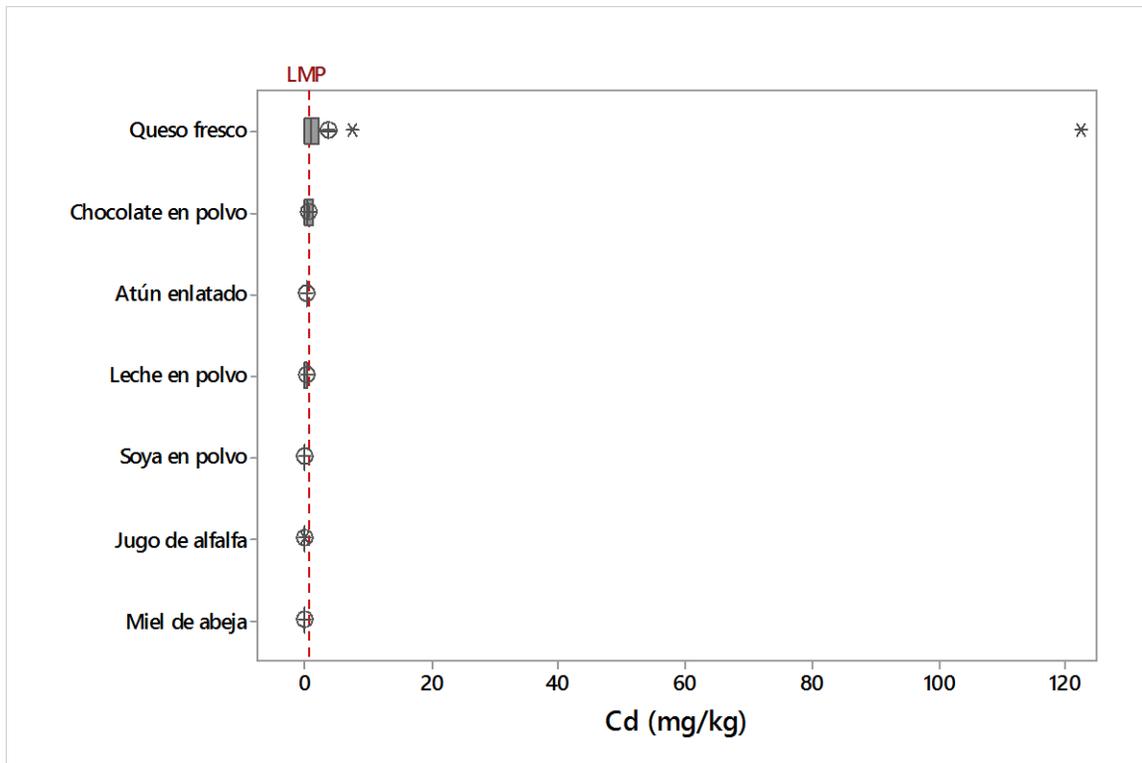


Figura 7. Concentración de cadmio reportadas en productos alimenticios procesados. Símbolo representa el valor promedio. Asterisco (*) representa valores atípicos. LMP: Límite máximo permisible Unión Europea para chocolate en polvo (0,6 mg/kg).

En tanto que el valor correspondiente al atún enlatado fue de 0,37 mg/kg Cd (Flores et al., 2018), que supera el LMP 0,10 mg/kg Cd (Comisión Alimentaria Unión Europea, 2006; MERCOSUR, 2011). Además Pernía et al. (2015) estudió el contenido de Cd en leche de polvo (0,22 mg/kg) y leche líquida (No detectable), se determinó que la leche en polvo supera el LMP 0,05 (MERCOSUR, 2011); por otro lado los valores de cadmio para leche líquida estuvieron por debajo del límite de detección (<0,002 mg/kg). A su vez el jugo de alfalfa, analizado en diferentes mercados del Distrito Metropolitano de Quito (Quishpe, 2016), presentó 0,08 mg/kg Cd; siendo el LMP para jugos 0,05 mg/kg Cd (MERCOSUR, 2011).

Se debe agregar que los estudios que no superaron el LMP 0,10 mg/kg Cd (FAO & OMS, 1995; MERCOSUR, 2011) fueron: Miel de abeja (0,03 mg/kg) recolectada en Pichincha (Condor, 2015), Soya en polvo (0,08 mg/kg) y soya líquida (No detectable) analizados en mercados de Guayaquil (López, 2017), y los productos derivados de azúcar: panela, azúcar blanca y azúcar morena (No detectable) muestreados en las ciudades de Quito y Guayaquil (Alcívar, 2018).

4.2.3 Mercurio en productos alimenticios

El análisis realizado del contenido de mercurio en alimentos dio como resultado que existe, solamente, un estudio de Hg en alimentos vegetales. Este corresponde al realizado por Castillo (2019) en *Solanum tuberosum* recolectado en fincas del cantón Aloasí- Pichincha. Se determinó un promedio de 0,04 mg/kg Hg. Este valor excede el LMP de 0,01 mg/kg Hg según la Unión Europea.

Por otro lado, los estudios realizados en alimentos de origen animal se conforman en su totalidad de productos pesqueros. De las 22 especies animales analizadas, 9 presentaron concentraciones de mercurio que superaron los LMP determinados por la Unión Europea para productos de la pesca 0,5 mg/kg y 1 mg/kg para especies de atún y marlín. Es así que, como se observa en la figura 8, la concha macho (*Anadara similis*) presentó valores extremadamente altos, con un promedio de 618,75 mg/kg Hg recolectada en el Estero Huaylá – Provincia de El Oro (Tobar et al., 2017).

También se presentó altas concentraciones en *Anadara tuberculosa* (66,86 mg/kg), que fue estudiada en Esmeraldas (Margarita Cedeño & Zambrano, 2017), Guayas (Carrasco & Webster, 2016) y diferentes localidades de la provincia de El Oro (Ordoñez, 2015; Tobar et al., 2017); además se registraron valores atípicos en el Estero Huaylá- El Oro con las siguientes concentraciones de mercurio: 285-325-352,5-495 mg/kg.

Otros bivalvos que superaron el LMP de la Unión Europea fueron: *Mytella strigata* (4,19 mg/kg Hg) obtenida en Puerto Hondo- Guayaquil (Calle et al., 2018),

Anadara grandis (3,36 mg/kg Hg) recolectada en diferentes localidades de la provincia de El Oro (Riofrío, 2016) y *Crassostrea columbiensis* (0,61 mg/kg Hg) estudiada en la provincia de El Oro, se debe agregar que esta última presentó valores atípicos de 2,93 y 1,22 mg/kg Hg en Puerto Hualtaco y Puerto Jeli, respectivamente.

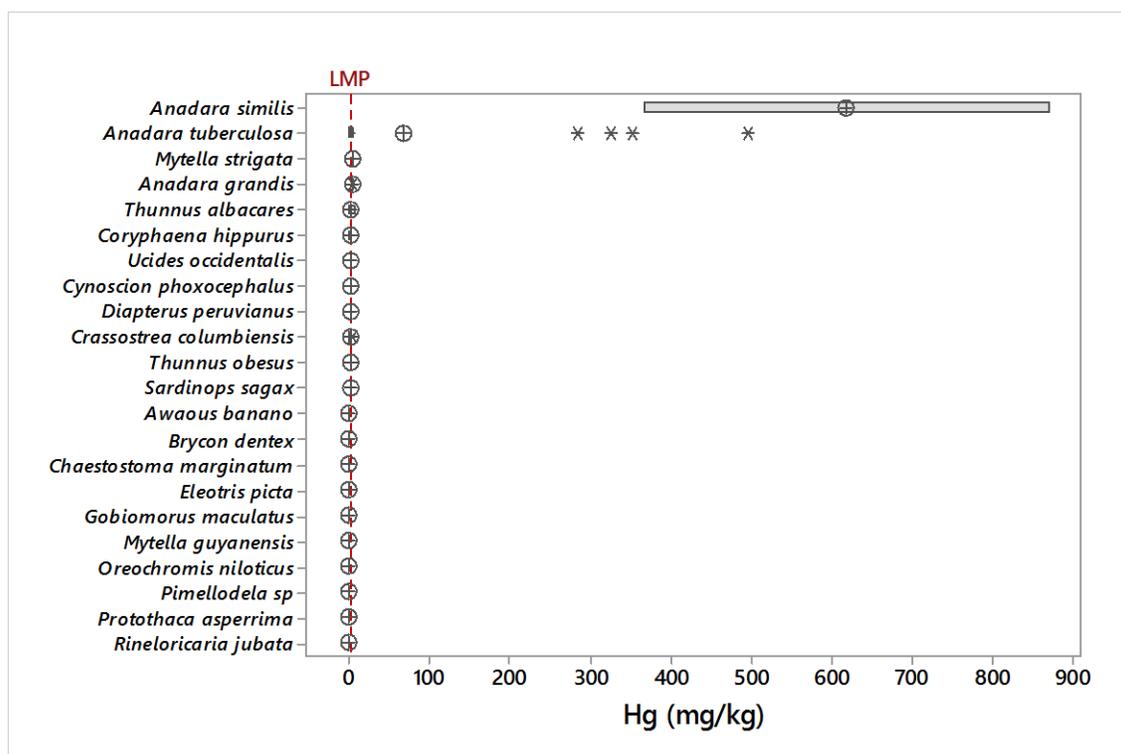


Figura 8. Concentración de mercurio reportadas en alimentos de origen animal. Símbolo representa el valor promedio. Asterisco (*) representa valores atípicos. LMP: Límite máximo permisible CODEX UE para productos de pesca (0,5 mg/kg).

Desde otro punto de vista, la figura 9 muestra la distribución del mercurio en bivalvos en Ecuador clasificados por colores de la siguiente manera: el color amarillo representa valores por debajo del LMP 0,5 mg/kg Hg, y el color rojo son todos los valores que superan el límite. Es así que, los valores observados en la provincia de Esmeraldas para *Anadara tuberculosa* (0,01 mg/kg Hg) no superaron el LMP (Margarita Cedeño & Zambrano, 2017). En tanto que, en Puerto Hondo (perteneciente a la ciudad de Guayaquil), el mejillón *Mytella strigata* presentó una concentración de 4,19 mg/kg Hg (Calle et al., 2018).

Distribución de Hg en productos alimenticios (bivalvos) en Ecuador

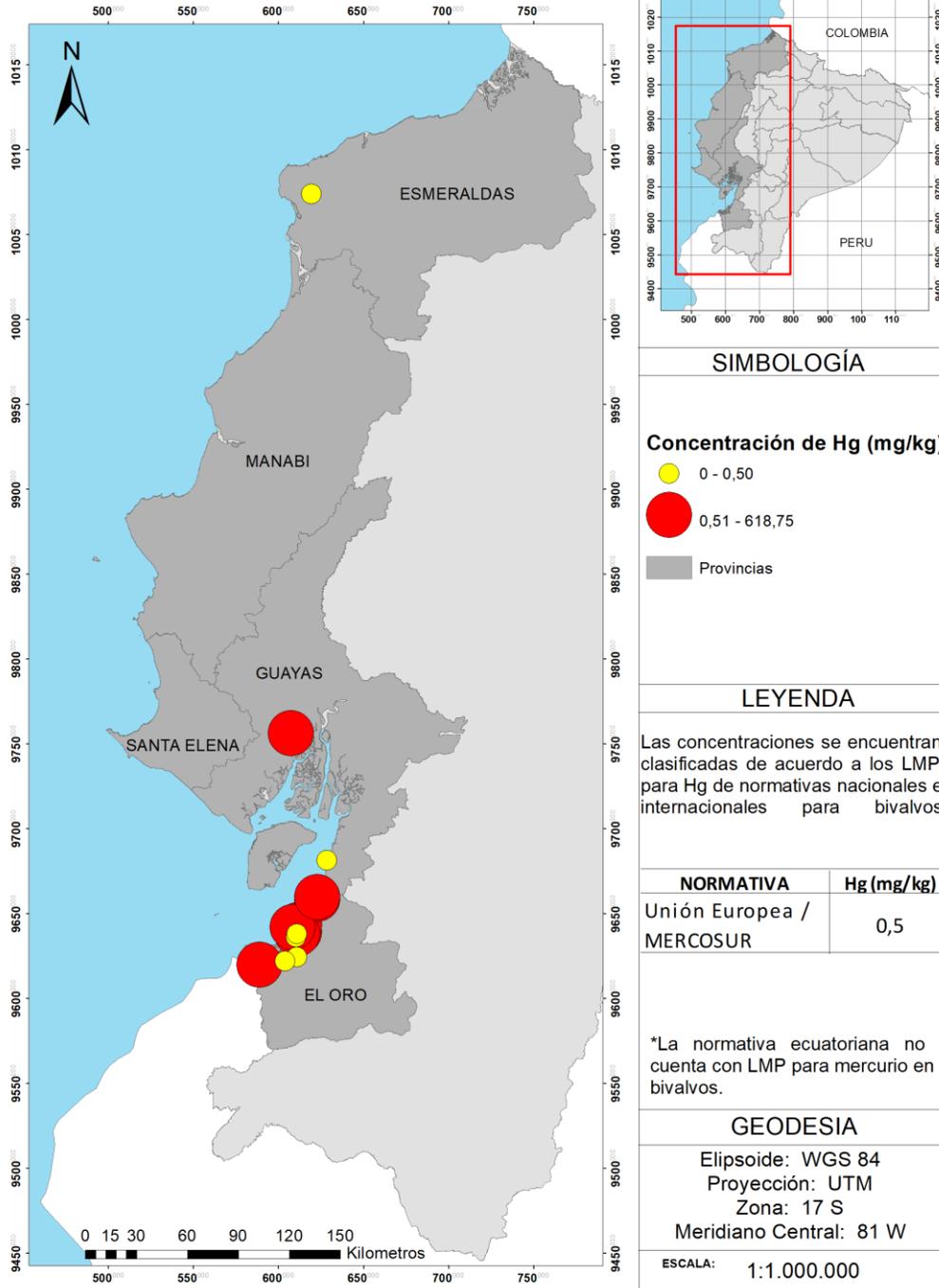


Figura 9. Distribución de mercurio en bivalvos en las provincias de Esmeraldas, Guayas y El Oro.

Caso contrario, fue lo observado en el cantón Balao, dónde se evidenció concentraciones que no representan peligro para la salud según lo dispuesto por la Unión Europea en las especies: *Anadara tuberculosa* (0,21 mg/kg), *Mytella guyanensis* (0,00 mg/kg) y *Protothaca aspérrima* (0,00 mg/kg) (Carrasco & Webster, 2016).

Por lo que se refiere a la provincia de El Oro, se evidenció concentraciones extremadamente altas en el Estero Huaylá para *Anadara similis* (618,75 mg/kg) y *Anadara tuberculosa* (364,37 mg/kg) (Tobar et al., 2017). Otras concentraciones que superaron el LMP se evidenciaron en Puerto Hualtaco para los bivalvos *Anadara grandis* (3,01 mg/kg), *Anadara tuberculosa* (2,74 mg/kg) y *Crassostrea columbiensis* (1,22 mg/kg) (Castro, 2015; Ordoñez, 2015; Riofrío, 2016); Estero Huaylá (3,75 mg/kg) para *Anadara grandis* (Riofrío, 2016); en Bajo Alto para *Anadara grandis* (3,33 mg/kg) y *Anadara tuberculosa* (0,51 mg/kg) (Ordoñez, 2015; Riofrío, 2016), finalmente en el Archipiélago de Jambelí (0,68 mg/kg) para *Anadara tuberculosa*.

En esta provincia también se determinaron valores que no superaron el LMP (0,5 mg/kg), estos se ubicaron en el Estero Huaylá- Puerto Bolívar (0,34 mg/kg) para *Anadara tuberculosa* (M. Ordoñez, 2015) y, en las localidades de Puerto Jeli (0,49 mg/kg), Puerto Bolívar (0,37 mg/kg) y Puerto Pitahaya (0,36 mg/kg) para *Crassostrea columbiensis*.

Volviendo al análisis de productos animales en general, las especies de pescados que superaron el LMP según la Unión Europea fueron: *Thunnus albacares* (2,47 mg/kg) recolectado en Playita mía – Manta, provincia de Manabí; seguido por el dorado (*Coryphaena hippurus*) evaluado en Manabí y El Oro (Araújo & Cedeño-Macias, 2016; Senior et al., 2016; Villarreal, Sánchez, & Cañarte, 2016) con un promedio de 1,58 mg/kg; la Corvina (*Cynoscion phoxocephalus*) con 1,42 mg/kg obtenida en mercados de Machala (Senior et al., 2016), y Chaparra (*Diapterus peruvianus*) con 1,22 mg/kg muestreada en el Estero Huaylá (Ortega, 2015).

También fue analizado el cangrejo rojo (*Ucides occidentalis*) en diferentes localidades de la provincia de El Oro, el mismo que obtuvo 1,44 mg/kg Hg; la mayor concentración se reportó en Bajo Alto con 2,59 mg/kg Hg (Chuquimarca, 2015).

Los estudios registraron que *Sardinops sagax* (0,36 mg/kg) y *Thunnus obesus* (0,55 mg/kg) presentaron valores inferiores al LMP para carne de pescado 0,5 mg/kg Hg y para atún 1 mg/kg Hg, respectivamente (Ortega, 2015; Senior et al., 2016). En tanto que los pescados: *Awaous bananao*, *Brycon dentex*, *Chaetostoma marginatum*, *Eleotris picta*, *Gobiomorus maculatus*, *Pimellodela sp*, *Rineloricaria jubata* y *Oreochromis niloticus* (Correa, Bolaños, Monsalve, Rubio, & Salinas, 2015; Senior et al., 2016) presentaron valores por debajo del límite de detección; de la misma manera, las especies de bivalvos *Mytella guyanensis* y *Protothaca aspérrima* registrado por Carrasco Peña & Webster Coello (2016).

Todavía cabe señalar que Alcívar (2015) realizó un estudio en la provincia de Los Ríos, donde determinó el contenido de metilmercurio en peces de agua dulce: *Brycon alburnus*, *Ichthyoelephas humeralis*, *Chaetostoma fischeri*, obteniendo 0,00005 - 0,00004 - 0,00003 mg/kg Hg, respectivamente. Estos resultados no representan un peligro para la salud, debido a que la Ingesta semanal tolerable provisional (ISTP) del metilmercurio es de 0,0016 mg/kg de peso corporal (FAO & OMS, 1995).

En cuanto a los alimentos procesados, se estudió el contenido de Hg en atún enlatado, obteniendo un promedio de 0,48 mg/kg de Hg. A pesar que el valor promedio no sobrepasa el LMP, los valores registrados en la conserva con agua cómo liquido gobernante superan el LMP para atún (1 mg/kg Hg), los mismos que fueron de 1,82 y 3,37 mg/kg Hg (Bello, Vera, Vera, & Anchundia, 2016).

También se analizó la leche de vaca en Arenillas, provincia de El Oro; donde se obtuvo un promedio de 0,01 mg/kg Hg, el mismo que se cumple con el LMP (0,01 mg/kg Hg) establecido por la Unión Europea. Sin embargo, el 35% de las muestras analizadas superaron dicho valor, llegando a cuantificarse hasta 0,018 mg/kg Hg (Ayala Armijos & Romero Bonilla, 2013).

4.2.4 Plomo en productos alimenticios

Respecto a la presencia de plomo en alimentos de origen vegetal, 5 de los 15 alimentos estudiados sobrepasaron los límites máximos permisibles según Codex Alimentarius (FAO & OMS, 1995) y MERCOSUR (2011) (Figura 10).

Es así que la mayor concentración se evidenció en la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) obtenida en La Troncal-Guayas (Alcívar, 2018) con 4,32 mg/kg Pb, el mismo que supera el LMP de 0,10 mg/kg Pb para azúcares (MERCOSUR, 2011). Igualmente *Theobroma cacao*, estudiada en las provincias de Los Ríos y Manabí (Días, Mendoza, Bravo Bustamante, & Domínguez, 2018; Intriago et al., 2019) obtuvo un promedio de 2,38 mg/kg Pb, el mismo que sobrepasa el LMP de 0,50 mg/kg Pb (MERCOSUR, 2011).

El contenido de Pb presente en *Oryza sativa*, estudiado en las provincias de Azuay (Huiracocha, 2018) y Guayas (Sinchi, 2019) fue de 1,52 mg/kg, el mismo que superó el LMP de 0,2 mg/kg (FAO & OMS, 1995; MERCOSUR, 2011). Se debe agregar que se evidenciaron valores atípicos en los cantones de Nobol (10,69 y 5,65 mg/kg) y Daule (10,10 mg/kg) pertenecientes a la provincia de Guayas. Los resultados obtenidos para *Glycine max* L. fueron de 1,22 mg/kg en diferentes mercados de Guayaquil (López, 2017), siendo el LMP 0,1 mg/kg Pb (FAO & OMS, 1995).

Así mismo, *Coffea* sp. obtuvo un valor promedio de 0,52 mg/kg Pb, que se encuentra por encima del LMP (0,50 MG/KG Pb) establecido por MERCOSUR (2011).

Por otra parte, los estudios evidenciaron que 10 vegetales presentaron valores por debajo de LMP establecido por para cada una de ellas (FAO & OMS, 1995). A continuación, se enlista las especies con su respectiva concentración promedio de Pb: *Allium cepa* (0,0005 mg/kg), *Capsicum annuum* L. (0,0006 mg/kg), *Brassica oleraceae* var. *italica* L. (0,0006 mg/kg), *Daucus carota* L. (0,0008 mg/kg), *Nasturtium officinale* R. Br. (0,0147 mg/kg), *Solanum lycopersicum* L. (0,0159 mg/kg), *Allium fistulosum* L. (0,0478 mg/kg), *Lactuca sativa* L. (0,0498 mg/kg), *Fragaria ananassa* (0,0710 mg/kg) y *Solanum tuberosum* (0,0970 mg/kg). La mayoría de estos productos se recolectaron en la provincia de Pichincha y Chimborazo; solamente *Allium fistulosum* L. provino de la provincia de Tungurahua.

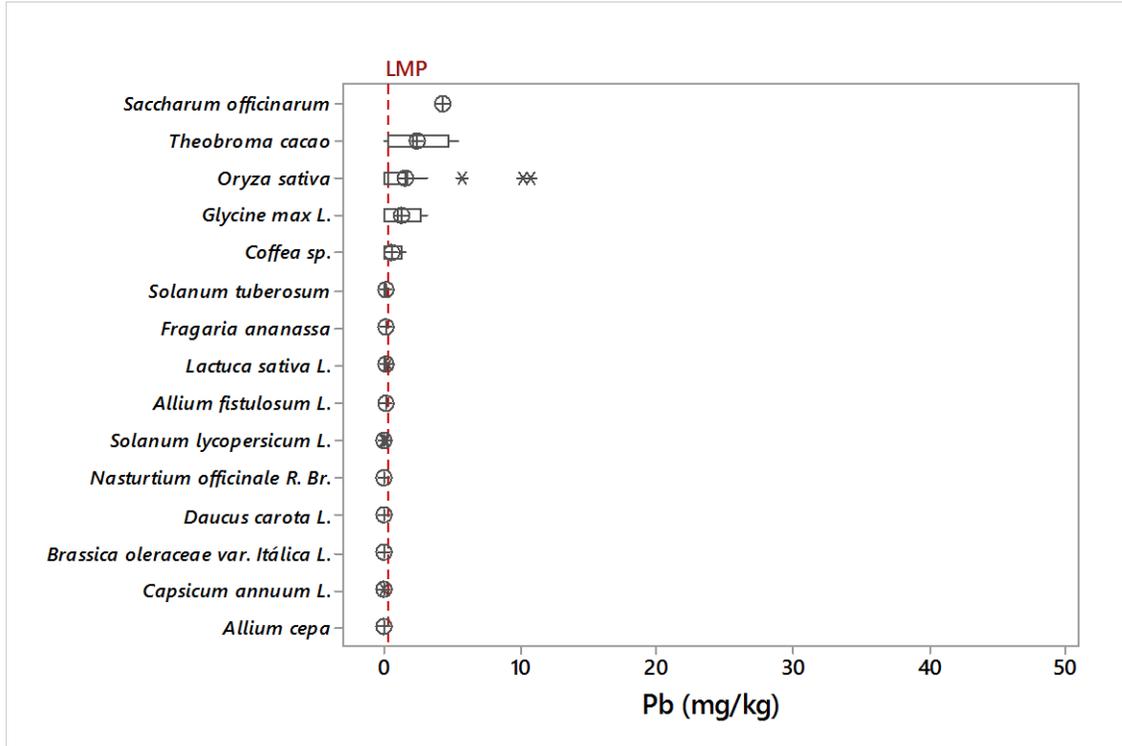


Figura 10. Concentración de plomo reportadas en alimentos de origen vegetal. Símbolo representa el valor promedio. Asterisco (*) representa valores atípicos. LMP: Límite máximo permisible CODEX UE para hortalizas de hoja (0,3 mg/kg).

Con respecto a los alimentos de origen animal, como se puede observar en la figura 11, el 100% de los estudios se realizaron en productos de pesca. Es así que, de los 32 alimentos analizados, 12 superaron los LMP determinados para pescado (0,3 mg/kg Pb) (Comisión Alimentaria Unión Europea, 2006; FAO & OMS, 1995), y para moluscos (1,5 mg/kg Pb) (Comisión Alimentaria Unión Europea, 2006).

Las mayores concentraciones de Pb se presentaron en *Sardinops sagax* y *Diapterus peruvianus* recolectadas en el Estero Huaylá, provincia de El Oro con 12,02 y 9,11 mg/kg (Ortega, 2015). Seguidas por *Katsuwonus pelamis* (1,22 mg/kg) y *Cynoscion albus* (0,78 mg/kg) analizadas en el Puerto de Santa Rosa, ubicada en el cantón Salinas-Santa Elena (Cedeño, 2016). También se observaron altas concentraciones en el dorado (*Coryphaena hippurus*) con un promedio de 0,52 mg/kg Pb, estudiado en Machala (Senior et al., 2016) y Salinas (Araújo & Cedeño-Macias,

2016), y en el picuro (*Makaira mazara*) con 0,39 mg/kg Pb obtenido en Santa Rosa, Salinas (Marcos Cedeño, 2016).

Otro producto de pesca que superó el LMP (0,50 mg/kg Pb para crustáceos) establecido por la Unión Europea fue *Ucides occidentalis* con un promedio de 0,57 mg/kg Pb, estudiado en la Reserva Ecológica Manglares Churute (Siavichay, 2013), y en los cantones de Huaquillas, Machala y El Guabo, de la provincia de El Oro (Chuquimarca, 2015). La mayor concentración se presentó en la provincia de El Oro con 2,01 mg/kg Pb, en comparación con la Reserva Ecológica Manglares Churute que obtuvo 0,10 mg/kg Pb.

En cuanto a los moluscos bivalvos, el análisis evidenció que las siguientes especies superaron el LMP de la Unión Europea (1,5 mg/kg Pb): *Anadara similis* (8,52 mg/kg), *Anadara grandis* (2,62 mg/kg), *Ostrea columbiensis* (2,29 mg/kg) y *Mytella guyanensis* (1,92 mg/kg). En tanto que *Mytella strigata* presentó un valor muy próximo al LMP con 1,48 mg/kg Pb; otras especies que presentaron concentraciones de Pb bajas fueron: *Anadara tuberculosa* (0,63 mg/kg), *Protothaca aspérrima* (0,40 mg/kg), *Crassostrea columbiensis* (0,19 mg/kg) y *Donax* sp. (0 mg/kg).

Se ha analizado la concentración de Pb en 3 provincias del Ecuador. Como se observa en la figura 12, las concentraciones de plomo en bivalvos se muestran clasificados por colores de la siguiente manera: el color amarillo representa concentraciones por debajo de LMP establecido en la Unión Europea y MERCOSUR (1,5 mg/kg Pb); el color naranja corresponde a los valores que superan el LMP de 1,5 mg/kg hasta el LMP establecido en la normativa Australiana y Brasileña de 2 mg/kg Pb, finalmente el color rojo representa todos los valores que superan el LMP de 2 mg/kg para bivalvos.

Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente en la provincia de Esmeraldas los estudios evidenciaron bajas concentraciones de Pb en las localidades de San Lorenzo y Muisne, para la especie *Anadara tuberculosa*, donde el contenido de plomo no fue detectable (nd) para el método utilizado (Arizaga & Lemos, 2016; Margarita Cedeño & Zambrano, 2017). En tanto que los estudios realizados en el Estero Salado de Guayaquil presentaron un promedio de 2,40 mg/kg Pb en *Mytella guyanensis* (Castro,

2017; Rodríguez, 2013), 1,42 mg/kg Pb en *Mytella strigata* (Kuffó, 2013) y 0,78 mg/kg Pb en *Crassostrea columbiensis* (Jimenez, 2012); la mayor concentración se evidenció en el Puente Perimetral con 5,24 mg/kg Pb para *Mytella guyanensis* (Castro, 2017).

Por otro lado, en el Golfo de Guayaquil se presentaron valores muy variados; diferenciados por la ubicación y la especie estudiada. Es así que, Arcos et al. (2009) determinó que el Pb en la almeja *Donax* sp. fue no detectable para el método utilizado.

A su vez Mero (2010) estudió plomo en dos especies de bivalvos en cuatro localidades obteniendo: En Chupadores chicos, *Ostrea columbiensis* presentó 1,96 mg/kg, en tanto que *Mytella strigata* 1,21 mg/kg; en Chupadores grandes *Ostrea columbiensis* obtuvo 1,15 mg/kg y *Mytella strigata* 1,98 mg/kg; en Las cruces *Ostrea columbiensis* evidenció el valor más alto con 5,03 mg/kg y en *Mytella strigata* 1,04 mg/kg; por último en Las Loras *Ostrea columbiensis* obtuvo el valor más bajo 1,02 mg/kg y *Mytella strigata* 1,75 mg/kg.

Por último, en Puerto El Morro se observaron concentraciones sobre el LMP de la Unión Europea (1,5 mg/kg Pb) en *Anadara tuberculosa* con 3,37 mg/kg, y *Anadara grandis* con 2,62 mg/kg (Mero et al., 2012).

En el cantón Balao - provincia del Guayas, se analizaron tres especies de bivalvos: *Anadara tuberculosa* (0,11 mg/kg Pb), *Protothaca aspérrima* (0,40 mg/kg) y *Mytella guyanensis* (nd) (Carrasco & Webster, 2016); estos valores no superaron el LMP (1,5 mg/kg).

Finalmente, en la provincia de El Oro la mayor concentración se evidenció Puerto Bolívar con las especies *Anadara similis* (8,52 mg/kg Pb) y *Anadara tuberculosa* (4,3 mg/kg Pb) (Ordoñez, 2015; Tobar et al., 2017); sin embargo *Crassostrea columbiensis* obtuvo valores no determinados para el método utilizado (Castro, 2015).

Además, las localidades: archipiélago de Jambelí, Bajo Alto, Puerto Hualtaco, Puerto Jeli y Puerto Pitahaya presentaron valores por debajo del límite permisible en bivalvos, dónde fueron estudiados *Anadara tuberculosa* y *Crassostrea columbiensis* (Castro, 2015; Ordoñez, 2015; Siguenza, 2016).

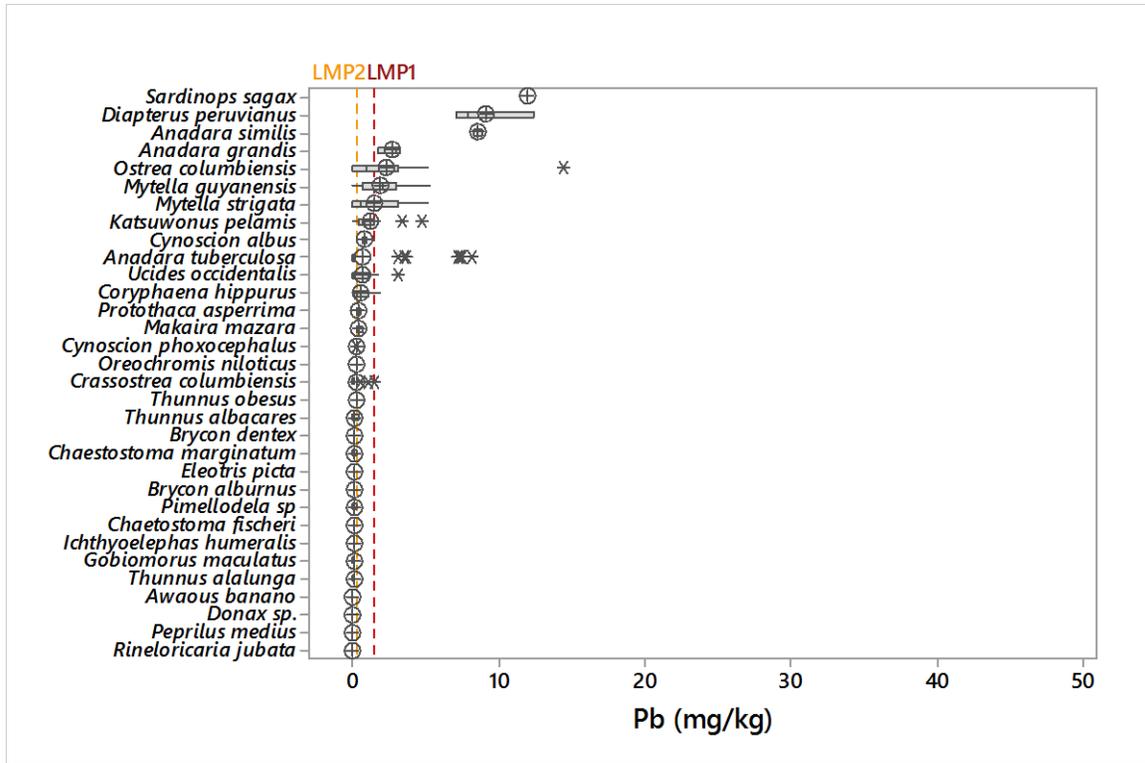


Figura 11. Concentración de plomo reportadas en alimentos de origen animal. Símbolo representa el valor promedio. Asterisco (*) representa valores atípicos. LMP1: Límite máximo permisible CODEX UE para bivalvos (1,5 mg/kg). LMP2: Límite máximo permisible CODEX UE para pescados (0,3 mg/kg).

Distribución de Pb en productos alimenticios (bivalvos) en Ecuador

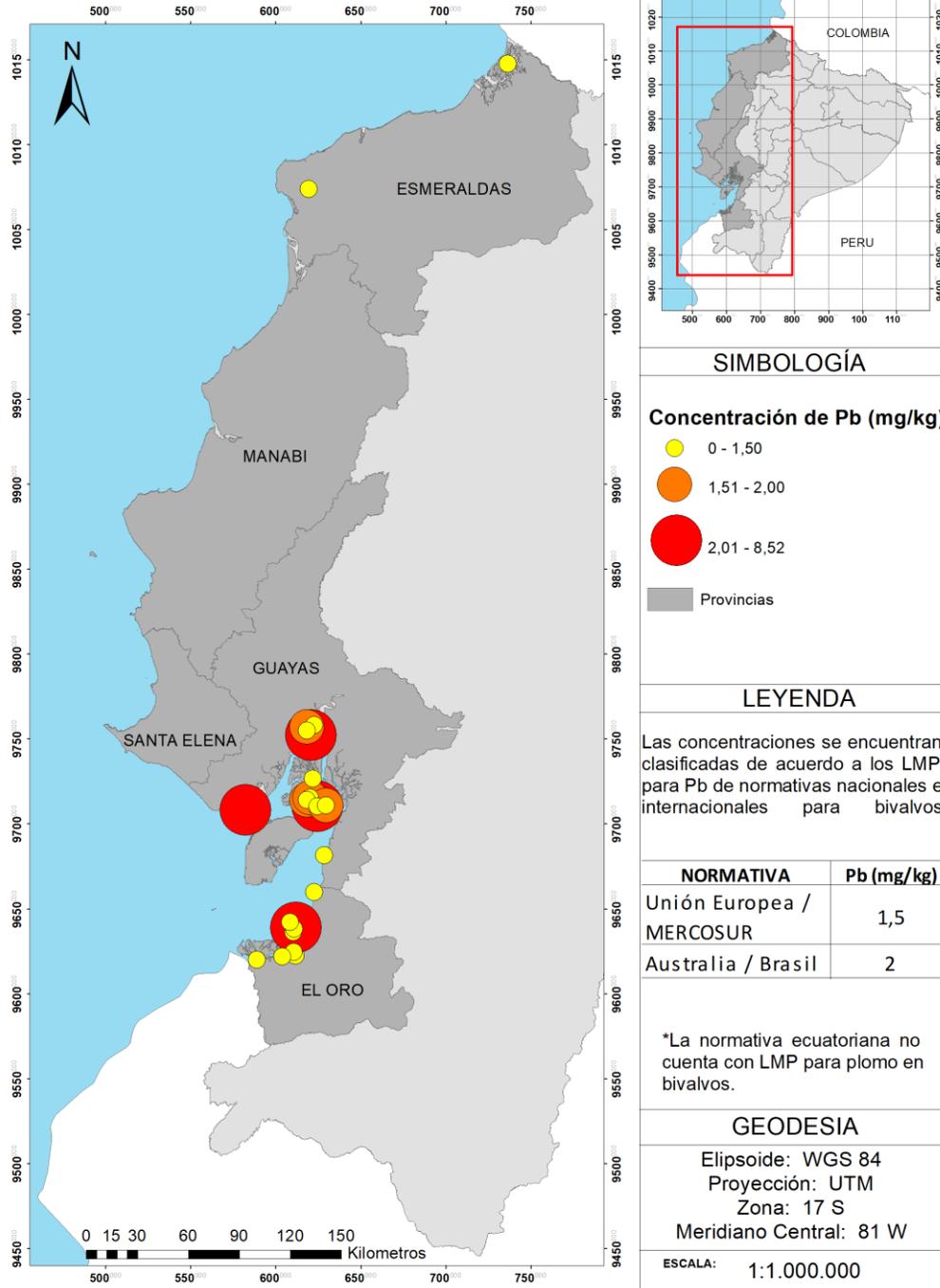


Figura 12. Distribución de plomo en bivalvos en las provincias de Esmeraldas, Guayas y El Oro

En cuanto al contenido de Pb en alimentos procesados, se han analizado 10 diferentes productos de los cuales 6 superaron los LMP según las normativas nacionales e internacionales (figura 13).

El queso fresco presentó elevadas concentraciones de Pb, con un promedio de 5,59 mg/kg Pb en las provincias de Esmeraldas, Manabí, Santa Elena, Guayas, Los Ríos y El Oro. Se debe agregar que se obtuvieron valores atípicos en Guayas, en los cantones de Salitre (44,3 mg/kg), Milagro (14,5 mg/kg) y Daule (10,57 mg/kg); en los cantones Rio Chico (30,3 mg/kg), Dos Mangas (17,4 mg/kg) y Olón (15,51 mg/kg) de la provincia de Santa Elena, y en el cantón Chone (19,57 mg/kg) de la provincia de Manabí (Alejandro, 2014).

Pernía et al. (2015) reportó altos contenidos de Pb en leche en polvo (3,90 mg/kg) comercializadas en la ciudad de Guayaquil, en relación con el LMP 0,02 mg/kg Pb (FAO & OMS, 1995; Unión Europea, 2006; MERCOSUR, 2011). Así mismo, López (2017) analizó el Pb en leche de soya en polvo y líquida en diferentes mercados de Guayaquil, obteniendo 3,37 mg/kg Pb y 0,34 mg/kg Pb, respectivamente. Estos valores superan los LMP de 0,1 mg/kg Pb definido para soya (FAO & OMS, 1995) y 0,05 mg/kg Pb establecida para jugos (MERCOSUR, 2011); además se establece diferencias en el contenido de Pb en relación a las marcas de la soya en polvo.

En diferentes mercados del Distrito Metropolitano de Quito, Quishpe (2016) determinó un promedio de 2,69 mg/kg Pb en jugo de alfalfa (*Medicago sativa*), el mismo que supera el LMP 0,05 mg/kg Pb para jugos (INEN 2337:2008; MERCOSUR, 2011). De igual modo Alcívar (2018) evidencia concentraciones superiores al LMP para azúcares 0,1 mg/kg Pb según la normativa MERCOSUR en Panela (0,77 mg/kg) y azúcar blanca (0,53 mg/kg); los estudios realizados en azúcar morena (0,10 mg/kg Pb) no superaron el LMP. Estos productos fueron adquiridos en las ciudades de Quito y Guayaquil.

Por otro lado, la miel de abeja se estudió en los cantones Mejía y Quito, de la provincia de Pichincha; Condor (2015) obtuvo una concentración promedio de 0,09 mg/kg Pb, además no se estableció diferencias entre el producto rural del urbano. Estos valores son próximos al LMP de 0,1 mg/kg Pb (Unión Europea, 2006).

Viñan (2019) evaluó las concentraciones de Pb en café molido (0,79 mg/kg) e infusión (nd) en la provincia de Loja, sus análisis no superaron el LMP para café 1 mg/kg Pb y se evidenció que el Pb presente en el café no aparece en la infusión, de allí que no genera problemas sobre la salud (INEN 1122:2013; MERCOSUR, 2011).

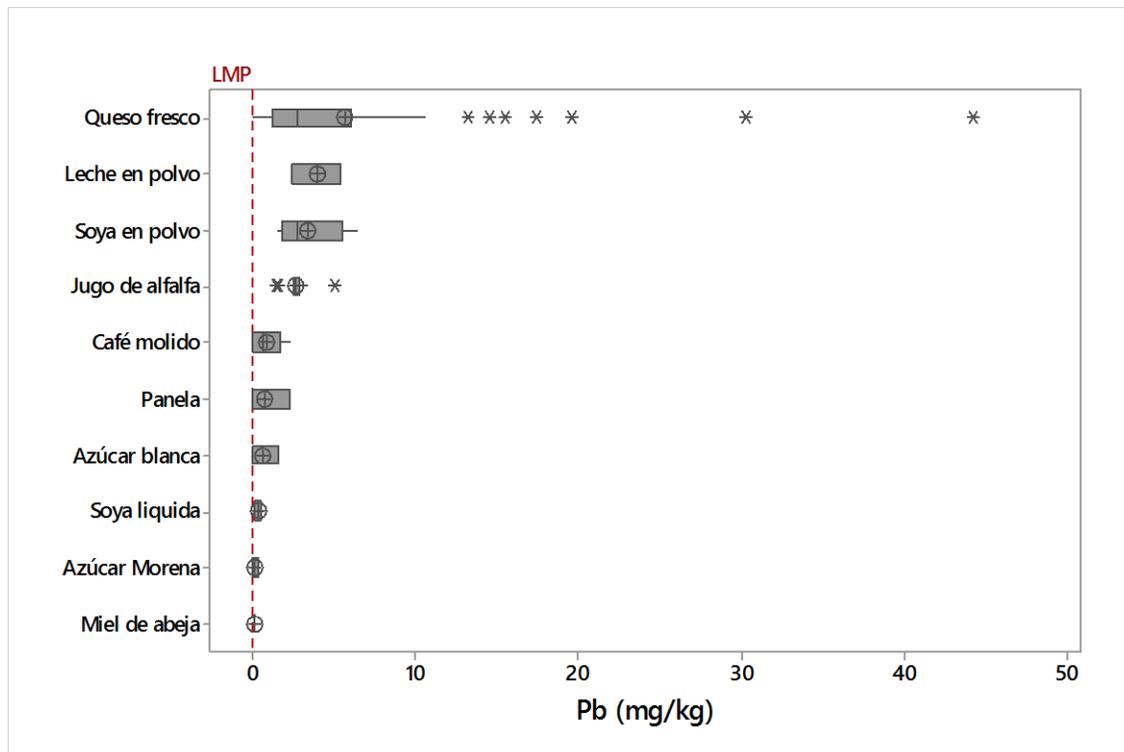


Figura 13. Concentración de plomo reportadas en alimentos procesados. Símbolo representa el valor promedio. Asterisco (*) representa valores atípicos. LMP: Límite máximo permisible CODEX FAO-OMS para leche (0,02 mg/kg).

4.3 PROPUESTA DE MEDIDAS DE INOCUIDAD ALIMENTARIA

Evidenciada la presencia de metales pesados en productos alimenticios, y teniendo en cuenta que la responsabilidad de la inocuidad alimentaria recae en todas las entidades, sociedades o personas naturales que intervienen en la cadena alimentaria, así como al estado mediante las entidades de regulación y control pertinentes. Se presentan las siguientes medidas para asegurar la inocuidad alimentaria:

1. Fomentar y capacitar a los productores sobre buenas prácticas de producción, bajo los principios de sostenibilidad y sustentabilidad de alimentos. Los Gobiernos municipales y/o las entidades competentes deben capacitar a los productores en las prácticas agrícolas adecuadas para reducir y prevenir la contaminación por metales pesados y los efectos adversos de ellos sobre la salud. El empleo de Buenas Prácticas agrícolas y agropecuarias asegura la inocuidad alimentaria, la protección de los recursos naturales y el ambiente, y las condiciones laborales adecuadas en el proceso de producción de alimentos (Bernal, 2010).

La aplicación de buenas prácticas en la industria no solamente asegura la inocuidad alimentaria, sino que aumenta la eficacia en la producción, disminuye costos, y genera productos de calidad internacional. Existen normas y sistemas desarrollados y adoptados por entidades internacionales (ISO 22000 y Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control - HACCP), como la Organización Internacional de Estandarización (ISO) y la Comisión del Codex Alimentarius para garantizar la inocuidad y el control de todas las etapas de la cadena alimentaria.

2. Controlar la calidad del agua utilizada en la producción de alimentos en todas sus fases. Una de las principales fuentes de contaminación por metales pesados es el uso de aguas servidas para el riego. El agua utilizada para la producción y procesamiento de los alimentos deberá cumplir con las normas específicas de manera que se asegure la inocuidad alimentaria. Para la producción de alimentos el agua utilizada deberá cumplir con lo dispuesto en la norma NTE-INEN 1108.

3. Regular el uso de productos químicos: fertilizantes, plaguicidas, aditivos alimentarios y otros productos de uso agrícola y veterinario. Todos los compuestos químicos, fertilizantes, plaguicidas y aditivos alimentarios deben ser regulados, de manera que se pueda prever su adulteración y que los contenidos de contaminantes tóxicos cumplan con los requisitos determinados por entidades como la Comisión del Codex Alimentarius para preservar la seguridad alimentaria.

4. Emplear técnicas para recuperar suelos agrícolas contaminados. Los suelos de siembra suelen contener grandes cantidades de metales pesados debido al uso de fertilizantes y plaguicidas (AlKhader, 2015; Bai et al., 2015). Existen alternativas que se pueden emplear para disminuir la carga del contaminante en el suelo y la planta, estas se deben emplear dependiendo de las necesidades del cultivo, las propiedades físico-químicas del suelo y el contaminante.

La absorción de los metales pesados en las plantas está condicionado al pH del suelo, la mayoría de estos elementos no se encuentran disponibles en pH alcalino, a excepción del As, Mo, Se y Cr (Prieto Méndez, González, Román, & Prieto García, 2009). Para suelos extremadamente ácidos se recomienda aplicación de cal (Carrillo-González, González-Chávez, & Navarro-Chávez, 2017).

El uso de enmiendas orgánicas es recomendable para estabilizar los contaminantes en el suelo y disminuir la capacidad de fitoextracción en las plantas, a mayor cantidad de materia orgánica se disminuye la absorción de estos metales (Prieto Méndez et al., 2009; Yu, Li, & Luan, 2018).

La fitorremediación es una alternativa sustentable y de bajo costo para restaurar suelos contaminados (Bernal Figueroa, 2014). Pernía et al. (2016) propone las especies de *Limnocharis flava* y *Azolla* sp. para aplicación de co-cultivo con el fin de disminuir la concentración de Cd en arrozales.

5. Comunicación, prevención, monitoreo y alerta temprana como función de la entidad de Salud Pública en coordinación con Ministerio de Ambiente y del Ministerio de agricultura, ganadería y pesca. La entidad de control competente debe realizar monitoreo y controles de alerta temprana a fin de prevenir casos

graves de intoxicación por metales pesados en las zonas donde se producen. La detección temprana puede no solamente prever la afectación al ser humano, sino también evitar impactos irreversibles sobre el ecosistema dónde se desarrollan las actividades productivas.

Los alimentos deben ser evaluados antes de la distribución al mercado para su consumo.

Debe ser de conocimiento público los productos alimenticios detectados con altas concentraciones de contaminantes, en sus lotes, componentes o distribución. Así mismo, se debe recomendar a la población general sobre limitar el consumo de alimentos propensos a contener altas concentraciones de metales pesados cómo lo son varias especies de pescado y moluscos, productos cárnicos y ciertos productos vegetales.

CAPITULO V

5.1 DISCUSIÓN

Para el desarrollo del primer objetivo, la presente investigación utilizó diferentes trabajos de investigación dónde se determinó la concentración de contaminantes como lo son As, Cd, Hg y Pb, se excluyeron con los trabajos que no cumplieron con los criterios considerados. Se encontró que se utilizaron diferentes metodologías analíticas para la determinación de las concentraciones de los diferentes elementos.

La evaluación de los metales pesados determinó que existen altas concentraciones de los mismos en los diferentes alimentos estudiados. Las concentraciones más altas de metales pesados se presentaron en alimentos de origen animal. Las especies reportadas con mayor concentración promedio de los metales evaluados fueron: *Gallus gallus domesticus* para arsénico (51,31 mg/kg As), en el caso de cadmio fue el bivalvo *Ostrea columbiensis* (7,50 mg/kg Cd), para mercurio *Anadara similis* (618,75 mg/kg Hg) y *Sardinops sagax* (12,02 mg/kg Pb) para plomo.

Seguido por los alimentos clasificados como procesados, dentro de los cuales el queso fresco presentó las mayores concentraciones de Cd (3,94 mg/kg) y Pb (5,59 mg/kg), y el atún enlatado de Hg (0,48 mg/kg). Los estudios reportaron análisis de As en miel de abeja y leche las cuales obtuvieron un promedio de 0,002 y 0,003 mg/kg As que no superaron el LMP.

Por otro lado, los alimentos de origen vegetal presentaron concentraciones máximas en *Persea americana* (19,76 mg/kg As), *Daucus carota* L. (9,71 mg/kg Cd) y *Saccharum officinarum* (4,32 mg/kg Pb). La papa (*Solanum tuberosum*) fue el único alimento vegetal en que se determinó el contenido de mercurio (0,04 mg/kg Hg), el mismo que no superó el LMP 0,01 mg/kg Hg (Comisión Alimentaria Unión Europea, 2018).

En el caso del pollo (*Gallus gallus domesticus*) se evidenció altos contenidos de arsénico en el hígado y molleja (Naula, 2012), superando hasta 51 veces el LMP 1 mg/kg As para despojos (MERCOSUR, 2011). Estos valores se corresponden con lo

reportado por Mohammed, Kolo, & Geidam (2013) en molleja (98 mg/kg As), pero no en el hígado (3,3 mg/kg As). Además sobrepasa excesivamente los valores obtenidos por Hu, Zhang, Cheng, & Tao (2017) de 0,14 y 0,05 mg/kg para hígado y molleja y Ordoñez (2017) quién no detectó As en carne.

El autor Naula (2012) relaciona el arsénico presente en los órganos con el contenido de arsénico en los alimentos, de los cuales obtuvo un promedio de 40,74 mg/kg As. Estos valores pueden deberse a la utilización de suplementos alimenticios con alto contenido de As, como es el caso de Roxarsone y Nitrozone; los mismos que han sido prohibidos por el FDA, ya que se ha demostrado que el arsénico orgánico presente en 3-Nitro® (Roxarsone) puede transformarse en arsénico inorgánico altamente tóxico (FDA, 2013). Sin embargo, estudios en Ecuador han evidenciado que se comercializa estos aditivos alimenticios para pollos (Buces, 2013; Quishpe Bahamontes, 2014; Redacción Sociedad, 2015).

Para el presente análisis se tomó en cuenta los valores del contenido de en hígado y molleja, ya que son utilizados para la elaboración de alimentos populares en el país.

En cuanto al contenido de cadmio en el músculo de pollo se presentó por debajo del límite de cuantificación del método utilizado (Moscoso, 2018). Esto se asemeja a lo obtenido por Mohammed et al. (2013), quién además evaluó el contenido de cadmio en otros órganos: riñón (19 mg/kg Cd), molleja (5 mg/kg Cd) e hígado (4 mg/kg Cd). Aunque se ha llegado a determinar 0,88 – 2,44 mg/kg de Cd en el músculo (Mahmoud & Abdel-Mohsein, 2015).

Los alimentos provenientes de la pesca también presentaron altas concentraciones de metales pesados, como es el caso de los moluscos bivalvos. Estos organismos tienen la capacidad de acumular metales pesados (y otros contaminantes y patógenos) de los lugares donde se desarrollan, motivo por el cual han sido ampliamente utilizados como bio-indicadores de contaminación en ecosistemas acuáticos (Otchere, 2019).

El ostión (*Ostrea columbiensis*) presentó el valor más alto para Cd, superando 7,5 veces el LMP de 1 mg/kg Cd (Comisión Alimentaria Unión Europea, 2006). Por otro lado, la concha macho (*Anadara similis*) superó excesivamente el LMP para Hg definido por la Unión Europea (0,5 mg/kg) de 1237,5 veces dicho límite, se debe mencionar que *Anadara similis* también registró altas concentraciones para arsénico (1,4 veces el LMP) y plomo (5,7 veces el LMP).

Estos resultados relacionados con el ostión concuerdan con lo expuesto por Yulianto, Oetari, Februhardi, Putranto, & Soegianto (2019) y Lino et al. (2016) dónde los ostiones acumularon altas concentraciones de Cd comparado con los otros moluscos bivalvos estudiados. Esto se debe a que los ostiones poseen una alta asimilación de metales en la alimentación contra la baja tasa de depuración, pudiendo considerarse hiperacumuladoras de Cd (Wang & Lu, 2017).

Con respecto al contenido de Hg en *A. similis*, se muestran extremadamente altos; esto podría deberse a que se desarrollan enterrados en el sedimento, donde acumulan altas concentraciones de metales (Liu, Cao, & Dou, 2017). Además en el lugar dónde se presentaron estos valores (Estero Huaylá), se ha evidenciado altas concentraciones de Hg en los sedimentos (7,08 mg/kg Hg) relacionadas directamente con el contenido de materia orgánica (Marín, Gonzalez, Lapo, Molina, & Lemus, 2016).

Sin embargo, otros estudios han encontrado concentraciones mucho menores en bivalvos del estero Huaylá, como *Anadara tuberculosa* con 0,34 mg/kg (Ordoñez, 2015) y *Anadara grandis* con 3,75 mg/kg (Riofrío, 2016). Esto podría deberse a la metodología analítica utilizada (por Tobar et al., 2017) por lo cual es posible que haya una subestimación de las concentraciones reales (Navarrete-Forero, Morales Baren, Dominguez-Granda, Pontón Cevallos, & Marín Jarrín, 2019).

Este estero recibe descargas de aguas residuales de la ciudad Machala y no tiene influencia de actividad minera; por lo que las deposiciones atmosféricas y mareas podrían ser factores que afecten los elevados niveles de Hg (Molina, Marín Medina, Lapo Calderón, González, & Lemus, 2019).

De manera general, el grado de acumulación de los bivalvos depende de diversos factores; estos son los relacionados con el organismo como la especie, la edad, el estado reproductivo, el tamaño, tasa de crecimiento; y por los factores abióticos que dependen del lugar como la temperatura, pH, salinidad, época del año, aumento de escorrentía, marea, entre otros (Mero, 2010; Otchere, 2019).

Así por ejemplo, los organismos presentes en la misma comunidad y en el mismo nivel trófico pueden acumular contaminantes de manera diferenciada, lo que depende de su hábitat físico y las propiedades del químico (Otchere, 2019). Esto se relaciona con lo reportado por Mero (2010), donde se demostró que *Ostrea columbiensis* tuvo más afinidad que *Mytella strigata* para acumular cadmio en el Golfo de Guayaquil.

También se debe tomar en cuenta la tendencia de los bivalvos a acumular mayor cantidad de metales en los organismos más pequeños (Otchere, 2019), esto coincide con lo reportado por Tobar et al. (2017), donde obtuvo altos niveles de metales pesados en los organismos de menor tamaño para Cd, Hg y Pb en *Anadara tuberculosa*.

Este hecho se debe considerar como criterio de regulación adicional al Acuerdo N°149 dispuesto por el Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca (MAGAP), donde se establece la veda permanente que restringe la extracción, transporte, posesión, procesamiento y comercialización de la concha prieta (*A. tuberculosa* y *A. similis*) en tallas menores a 4,5 cm; debiéndose agregar todos los bivalvos como medida de protección al consumidor. Sin embargo, esta no sería la única medida a tomar ya que González & Banchón (2019) evidenciaron el desconocimiento de esta disposición por parte de los comerciantes de la provincia de Santa Elena.

El presente estudio demostró que la población está más expuesta a ingerir diversos metales pesados, por medio de los moluscos bivalvos, en relación a la zona donde se recolectan. En la provincia de El Oro se evidenció concentraciones extremas de mercurio; el cadmio y plomo predominaron en la provincia del Guayas, en tanto que en Esmeraldas el arsénico superó ligeramente el LMP.

En relación con los peces, las especies de origen marino presentaron las mayores concentraciones de metales pesados en comparación con las especies de agua dulce; que presentaron (para todos los elementos evaluados) valores bajo los LMP.

La sardina (*Sardinops sagax*) y la chaparra (*Diapterus peruvianus*) presentaron las concentraciones más altas de Pb, superando 40 y 30 veces el LMP (0,3 mg/kg Pb según UE y Codex Alimentarius), respectivamente. Estos valores superan lo observado en México con 0,08 mg/kg (Spanopoulos-Zarco, Ruelas-Inzunza, Meza-Montenegro, Bojórquez-Leyva, & Páez-Osuna, 2019) y 1,01 mg/kg (Gil-Manrique et al., 2017); no existen otros estudios del contenido de metales pesados en la especie *Sardinops sagax*.

Por otro lado, Ortega (2015) estableció diferencias del contenido de Pb entre tamaños de *Diapterus peruvianus*, al igual que los moluscos, las mayores concentraciones se presentaron en las tallas menores. Estas especies fueron recolectadas en el estero Huaylá, donde también se han evidenciado altas concentraciones de Cd, Hg y Pb en bivalvos (Riofrío, 2016; Tobar et al., 2017), esto podría significar una importante contaminación de este sistema, evidenciada en los organismos que en ella se desarrollan. Por lo que los productos extraídos de esta área podrían representar un riesgo para la salud de la población y no son aptos para consumo humano.

Lo que respecta a los alimentos procesados, el queso fresco no madurado supera 7,88 veces el LMP en Cd (MERCOSUR 0,5 mg/kg) y 280 veces el LMP para Pb (Codex Alimentarius 0,02 mg/kg).

Estos valores son superiores a los estudios realizados en Turquía, dónde determinaron las concentraciones de Cd y Pb para diferentes tipos de queso; se obtuvo entre 0,45-1,10 mg/kg Pb y 0,012-0,051 mg/kg Cd (Ayar, Sert, & Akin, 2009). En España se presentaron valores de 0,0328 mg/kg Pb y 0,0047 mg/kg Cd, donde se analizaron 57 variedades diferentes de queso (Moreno-Rojas, Sánchez-Segarra, Cámara-Martos, & Amaro-López, 2010), y en Puebla-México se evidenció valores de

0,13 mg/kg Cd y 2,96 mg/kg Pb (Benítez-Rojas, Delgado-Macuil, Amador-Espejo, Eustaquio-Rosales, & Martínez-Martínez, 2019).

Existen muchos factores que se ven involucrados en la contaminación del queso por metales pesados, por ejemplo el uso de leche (materia prima) producida en zonas contaminadas representa el principal aporte de estos elementos en la producción del queso (Castro-González et al., 2018). Otro factor a considerar son las prácticas empleadas en el proceso de elaboración, Moreno-Rojas et al. (2010) evidenció que las condiciones del procesamiento del queso puede aumentar o disminuir el contenido de metales pesados, los procesos que afectan el contenido de metales pesados (Cd y Pb) son: método de coagulación, saladura y curado.

Se debe considerar que el queso fresco estudiado por Alejandro (2014) es un producto que fue elaborado artesanalmente, no poseen registro sanitario y son expedidos al aire libre. Ya que se producen sin ningún control, existe una gran posibilidad de que ocurra contaminación cruzada por la falta de conocimientos técnicos cómo el uso de agua (y otros insumos) no apta para la producción de alimentos, almacenamiento en recipientes no adecuados, embalaje inapropiado, entre otros (Ayar et al., 2009).

Además, el hecho de que sean expedidos al aire libre expone a los productos a una contaminación ambiental, por lo que las elevadas concentraciones de Cd y Pb podrían deberse principalmente al tiempo de exposición atmosférica, especialmente si se encuentran en vías principales con elevado tráfico vehicular que representan un importante aporte en emisiones de Pb (Kim, Park, & Hwang, 2016).

Por otro lado, el atún enlatado no superó el LMP para Hg (1 mg/kg según la Unión Europea) en su análisis promedio, sin embargo Bello et al. (2016) encontró que los atunes que tenían agua cómo líquido preservante presentaron valores por encima de dicho límite, superándolo hasta 3 veces.

De manera general, se evidencia que los productos manufacturados y vendidos como polvo presentaron mayores concentraciones de metales pesados que sus presentaciones líquidas; este fue el caso de la leche de vaca en polvo que presentó

los valores más altos en Cd y Pb (en dos marcas estudiadas) comparados con la presentación líquida (no determinado para Cd y Pb) (Pernía et al., 2015). Para la leche de soya se presentó un incremento en la concentración de Pb en la leche en polvo respecto a la líquida, aunque no hubo diferencias estadísticamente significativas (López, 2017).

Lo que indica que estos productos se contaminan durante su procesamiento o por efecto de la concentración en el alimento deshidratado.

Además, se identificó una diferencia de contenido de metales pesados entre marcas, cómo se indicó para la leche en polvo. En el chocolate en polvo una marca presentó altos niveles de Cd de las 3 evaluadas (Sánchez, 2019), en tanto que los derivados de azúcar con mayores concentraciones fueron la panela y azúcar blanca (Alcívar, 2018). Esto indicaría que para los productos procesados o altamente procesados los procesos de manufactura como maquinaria o insumos generan contaminación de metales pesados en el producto final.

En cuanto a los alimentos vegetales estudiados, el contenido de arsénico superó el LMP en el 93% de ellos. La mayor acumulación se presentó en los frutos, seguido por los vegetales, raíces y tubérculos y los cereales, estos valores superan lo indicado por Muñoz et al. (2002) para vegetales crudos estudiados en la zona andina de Chile.

Estas elevadas concentraciones de As en alimentos podrían deberse a la influencia de los volcanes, que es una de las principales fuentes naturales de As en Latinoamérica (Bundschuh et al., 2012). Además, hay que tomar en cuenta que los alimentos analizados se encontraron en la zona de influencia del volcán Tungurahua (a excepción del arroz), el mismo que presentó actividad volcánica en las fechas de muestro del estudio realizado por Fiallos (2017), por lo cual el aporte de As pudo ser por deposición de cenizas volcánicas.

Así mismo, las rocas volcánicas son un aporte natural de As en acuíferos, presentándose valores entre 100 a 794 $\mu\text{g/L}$ As en cuerpos de agua geotermal. Estos cuerpos de agua pueden ser aportantes a aguas superficiales, sin embargo las fuentes

antropogénicas representan un rol principal en la distribución de As en estos afluentes (Cumbal, Vallejo, Rodriguez, & Lopez, 2010).

El aguacate (*Persea americana*) fue el alimento con mayor contenido de As, superó 66,9 veces el LMP establecido por MERCOSUR (0,3 mg/kg As). Esto podría relacionarse a su largo ciclo de vida, ya que al ser una planta perenne puede llegar a acumular grandes cantidades de contaminantes, y al tipo de agroquímicos utilizados para su producción.

La normativa nacional no contempla el contenido de arsénico para productos agrícolas, este es un factor importante a considerar debido a la alta influencia de este metaloide en zonas volcánicas como Ecuador. Además, se debe considerar la especiación de este metaloide, ya que el arsénico inorgánico es más tóxico que el orgánico.

Por otro lado, el 33,33% de los alimentos vegetales estudiados superaron el LMP establecido para Cd y Pb, presentando valores entre 1 y 97 veces el LMP (Codex Alimentarius) definido para Cd y entre 5 a 43 veces el LMP para Pb (UE).

Dentro de los vegetales se destaca la zanahoria (*Daucus carota* L.), el mismo que presentó 97,06 veces el LMP de Cd para raíces según Codex Alimentarius (0,1 mg/kg). Este valor es extremadamente alto comparado con lo obtenido en China y Bangladesh (0.023 mg/kg Cd) (Shaheen et al., 2016; Zhou et al., 2016). La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) evidenció los valores más altos de Pb, con 43,2 veces el LMP (0,1 mg/kg según MERCOSUR). Este valor es superior al reportado por Pandey, Suthar, & Singh (2016) en el tallo (0,01 – 1,11 mg/kg) de caña de azúcar en la India.

Una de las fuentes de Pb y Cd en los cultivos son los agroquímicos utilizados, varios estudios han reportado que el uso excesivo de fertilizantes (fosfatados y nitrogenados) y abono de origen animal por un prolongado periodo de tiempo puede causar la acumulación de Cd y Pb en suelo y la planta (Ali et al., 2019; Bai et al., 2015; AlKhader, 2015).

El alto contenido de Cd en *Daucus carota* L. puede deberse a que las raíces acumulan gran cantidad de metales pesados (Fytianos et al., 2001; O. Muñoz et al., 2002; Sultana et al., 2017). En tanto que *Saccharum officinarum* es capaz de acumular altas concentraciones de metales pesados, llegando a considerarse como potencial fitorremediador de Cd y Pb (Xia, Chi, & Cheng, 2009; Xia, Yan, Chi, & Cheng, 2009; Yadav, Jain, & Rai, 2010; Yan & Xia, 2010).

Para ambas especies la ubicación del cultivo puede ser un factor determinante en el contenido de Cd y Pb, ya que se ha evidenciado que los suelos urbanos contienen mayor cantidad (Fytianos et al., 2001). Así también se desconoce el lugar de dónde fueron cultivados, por lo que sería necesario realizar un análisis in situ del cultivo, ya que es interesante observar que en una feria orgánica se obtuvieran esas concentraciones de Cd en la zanahoria. En tanto que la caña de azúcar fue recogida en un solo punto de muestreo, por lo que sería necesario realizar un estudio más extenso de este cultivo.

El contenido de Hg evaluado en *Solanum tuberosum* superó 4 veces el LMP (0,01 mg/kg Hg), este valor se asemeja a los valores máximos evidenciados en alimentos producidos en zonas contaminadas por plantas de carbón para vegetales de hoja (0,06 mg/kg), vegetales de fruto (0,06 mg/kg) y granos (0,04 mg/kg) (Li et al., 2017). En este vegetal se ha llegado a cuantificar hasta 20 mg/kg de Hg en suelos contaminados (Kimakova & Poracova, 2011).

El autor (Castillo, 2019) también concluyó que no existía correlación entre la concentración de Hg en el pasto y el suelo, más no se realizó en el tubérculo. Por lo cual no se puede afirmar que el contenido de Hg en *Solanum tuberosum* no se debe al suelo del cultivo.

Existe evidencia que el contenido de Hg en suelos de cultivo se deben principalmente a deposiciones atmosféricas que al uso de fertilizantes (Wang et al., 2016), estas deposiciones pueden provenir de fuentes antropogénicas y naturales.

Se ha determinado que los volcanes son una importante fuente de Hg para el ambiente circundante, un estudio realizado en los alrededores del Volcán Etna obtuvo

que las concentraciones de Hg total en las hojas de *Castanea sativa* (castaño) aumentó en las siguientes condiciones: en etapas de crecimiento, por la edad de la hoja y en las temporadas de mayor actividad volcánica; además no se relacionó el contenido de Hg en las hojas con el suelo (Martin et al., 2012). Esto podría indicar una posible relación del Hg encontrado en el tubérculo con la actividad volcánica y la dispersión de las cenizas.

Las deposiciones atmosféricas también pueden aportar en el contenido de Hg en el suelo. Los suelos con mayor cantidad de materia orgánica tienden a acumular mayor cantidad de Hg; sin embargo, esta característica disminuye la capacidad de absorción del Hg en los vegetales (>30 g/kg de materia orgánica) (Martin et al., 2012). Lo mismo ocurre con suelos de pH alcalino (>7,5), ya que la capacidad de absorción del Hg en la planta es inversamente proporcional al pH del suelo (Yu et al., 2018).

Esto evidencia la necesidad de conocer las características de los suelos del cultivo de papa para determinar su influencia en la contaminación del tubérculo, además de considerar la influencia del volcán Cotopaxi, así también el de las ciudades más cercanas y sus actividades industriales.

Varias investigaciones han establecido que los vegetales de hoja como las brassicáceas acumulan mayor cantidad de metales pesados, seguido por los vegetales de tallo y raíces, vegetales de fruto, legumbres y cucurbitáceas (Liu et al., 2013; Song et al., 2015; Zhou et al., 2016). En el presente estudio, los vegetales de hoja evidencian valores que superan los LMP; sin embargo, no presentan los valores más altos de estos elementos.

Esto podría deberse a que el contenido de estos elementos varía en diferentes vegetales y no depende solamente de las características de la planta, sino también de los factores ambientales o antropogénicos que alteran las propiedades químicas de los elementos. Los factores que influyen en el contenido de metales pesados en los vegetales son: riego con agua contaminada, adición de fertilizantes y pesticidas, emisiones industriales, el transporte, el proceso de cosecha, el almacenamiento y modalidad de venta (Pan et al., 2016).

Se debe tener en consideración que la exposición de metales pesados a la población por los alimentos no solamente depende de las actividades en la producción primaria de los alimentos (agricultura, ganadería y pesca), también influye la cocción y preparación de los mismos.

Nachman et al. (2013) determina que durante la cocción las concentraciones de arsénico inorgánico aumentan en el pollo por la degradación de los compuestos orgánicos. De igual manera para los productos marinos deshidratados, la cantidad de arsénico es inusualmente alta lo que sugiere que el arsénico es transformado de orgánico a inorgánico durante el proceso de manufactura (Lynch et al., 2014).

(Lynch et al., 2014) por otro lado concluye que el arroz cocinado con grandes volúmenes de agua (no contaminada) reducen hasta el 20% de arsénico inorgánico.

Cómo se observó, los alimentos tienden a presentar concentraciones elevadas de elementos tóxicos que podrían poner en riesgo a la población que los consume. Por consiguiente, se realizó la propuesta de medidas de inocuidad alimentaria se realizó con la finalidad asegurar el cumplimiento de los límites máximos permisibles en los alimentos. En esta se tomó en cuenta todos los eslabones de producción, pudiendo considerarse una trazabilidad en el sistema de siembra, cultivo, producción, cosecha y manejo de los alimentos postcosecha relacionado al contenido de estos elementos, como esta evidenciado en el cumplimiento del objetivo 2.

Estas consideraciones se deben tener en cuenta para estudios futuros de toxicología alimentaria y determinar las principales fuentes de contaminación por metales pesados en alimentos para la población.

CAPITULO VI

6.1 CONCLUSIONES

Se realizó un meta-análisis de la contaminación por metales pesados en alimentos de Ecuador, donde se encontraron 65 estudios que cumplieron con los criterios de calidad.

Se evaluaron los niveles de contaminación en comparación con la normativa nacional e internacional, donde se evidenció que las mayores concentraciones de metales pesados se presentaron en los alimentos de origen animal. El 25, 56, 45 y 34 % de los alimentos estudiados superaron los LMP para As, Cd, Hg y Pb, respectivamente. La mayor concentración de As se evidenció en *Gallus gallus domesticus*, en tanto que el Pb se presentó valores elevados en los peces de mar: *Sardinops sagax*, *Diapterus peruvianus*, *Katsuwonus pelamis*, *Cynoscion albus*, *Coryphaena hippurus* y *Makaira mazara*.

Se destacan los bivalvos, en los que se observaron las mayores concentraciones relacionadas al Cd y Hg.

En segundo lugar, se identificaron los alimentos procesados en relación con el contenido de metales pesados. El 70% de los alimentos analizados superaron el LMP para Cd y Pb, en tanto que el 50% superó el límite de Hg. Se destaca el queso fresco por sus altos contenidos de Cd y Pb.

También se identificaron los alimentos de origen vegetal con altos contenidos de metales, las mayores concentraciones se evidenciaron como se indica: frutos > gramíneas > raíz y tubérculos > vegetales > leguminosas > cereales. De los alimentos evaluados el 93% superaron el LMP para As, el 33% para Cd y el 33% para Pb. El Hg se evaluó en un solo tubérculo (papa).

Se concluye que la población ecuatoriana está expuesta al consumo de alimentos contaminados con metales pesados y se hace un llamado a las autoridades de salud a controlar los niveles de As, Cd, Hg y Pb en los alimentos y a hacer

obligatorio para las empresas el cumplimiento de las normas INEN y las normas del MERCOSUR.

Además, se realizó una propuesta para mitigar la contaminación de los alimentos en suelos agrícolas.

6.2 RECOMENDACIONES

Determinar las concentraciones de metales pesados en alimentos según la metodología analítica sugerida por el Instituto Ecuatoriano de Normalización, o en su defecto por las organizaciones internacionales de control en alimentos.

Evaluar la contaminación por metales pesados en alimentos por la especiación de los mismos, ya que se ha evidenciado que la toxicidad del elemento que depende de la forma química en la que se encuentra.

Cuantificar las concentraciones de metales pesados no solamente de los diferentes alimentos, sino también se debe evaluar el medio dónde estos se desarrollan, o los insumos utilizados para su producción (suelo, agua, sedimentos, abonos o fertilizantes, pesticidas, aditivos alimenticios, entre otros), con la finalidad de conocer las fuentes de contaminación de los alimentos y consecuentemente tomar las medidas pertinentes que permitan mitigar y reducir la contaminación en los ecosistemas naturales, agrícolas o industriales.

Desarrollar programas de monitoreo e investigación para obtener una visión general de los niveles de contaminación por metales pesados en los diferentes grupos de alimentos y zonas afectadas, con el fin de elaborar mapas de concentración de estos contaminantes que permitan ejecutar planes de acción más eficaces, integrando todos los factores que intervienen en las zonas de interés.

Realizar estudios sobre los alimentos más consumidos en el Ecuador por frecuencia y edad para estimar el riesgo toxicológico alimentario, con la finalidad de definir Límites Máximos Permisibles acordes a la realidad del país y establecer un control más eficaz sobre los alimentos identificados como críticos.

Se recomienda a las entidades reguladoras reforzar la divulgación de la información relacionada a la inocuidad alimentaria disponible mediante campañas, así también las medidas de control sobre la calidad de los alimentos comercializados en el país, con la finalidad de asegurar la seguridad alimentaria de los consumidores.

REFERENCIAS

- Abernathy, C. (2001). Exposure and Health Effects. In *Arsenic in Drinking Water* (p. 100).
- Alcívar, G. (2015). *Evaluación del contenido de metales pesados en peces de agua dulce (bocachico, campeche y dama) en la zona de influencia de la U.T.E.Q.* UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO.
- Alcívar, M. (2018). *Determinación de cadmio y plomo en productos derivados de la caña: azúcar blanca, morena y panela, comercializados en Ecuador.* Universidad de Guayaquil. Retrieved from <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/34975>
- Alejandro, A. (2014). *Análisis Estadístico al Contenido de Metales en Quesos Frescos de la Costa Ecuatoriana.* ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.
- Ali, H., Khan, E., & Ilahi, I. (2019). Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: Environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *Journal of Chemistry*, 2019(Cd). <https://doi.org/10.1155/2019/6730305>
- AlKhader, A. M. (2015). The Impact of Phosphorus Fertilizers on Heavy Metals Content of Soils and Vegetables Grown on Selected Farms in Jordan. *Agrotechnology*, 05(01). <https://doi.org/10.4172/2168-9881.1000137>
- Arancibia, B., Sauma, C., Yañez, K., & Quezada, D. (2014). Intoxicación Por Metales Consideraciones Generales De Mayor Interés Toxicológico Sobre El Plomo, Mercurio Y Arsénico. *Revista Instituto Médico "Sucre,"* 81(144), 31–41.
- Araújo, C., & Cedeño-Macias, L. A. (2016). Science of the Total Environment Heavy metals in yellow fin tuna (*Thunnus albacares*) and common dolphin fish (*Coryphaena hippurus*) landed on the Ecuadorian coast. *Science of the Total Environment*, 541, 149–154. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.090>
- Arcos, V., Mero, M., Machuca, M., & Vera, L. (2009). Contaminación por metales pesados e incidencia en organismos bentónicos en "Cerrito de los Morrenos",

- Golfo de Guayaquil, Ecuador. *Investigación, Tecnología e Innovación*, 1(1).
- Arizaga, R., & Lemos, E. (2016). Determinación del grado de contaminación por metales pesados en bivalvos (*Anadara tuberculosa*) en la Reserva Ecológica Mangaltes Cayapas Mataje Cantón San Lorenzo de la provincia de Esmeraldas 2015. *El Misionero Del Agro*, 48–59.
- Arrieta, A., Corredor, W., & Vera, J. (2015). Assessment Of Heavy Metals And Cuantificación In Pork, Fish, Chicken And Res Market In Pamplona Norte De Santander, 13(2), 1692–7125.
- ATSDR. (1999). Public Health Statement Mercury. *Division of Toxicology and Environmental Medicine*. Retrieved from www.atsdr.cdc.gov/
- ATSDR. (2007a). Public Health Statement: Arsenic. *Division of Toxicology and Environmental Medicine*. <https://doi.org/10.1038/npg.els.0000869>
- ATSDR. (2007b). Public Health Statement: Lead. *Division of Toxicology and Environmental Medicine*.
- ATSDR. (2012). *ToxFAQs™: Cadmium*. *Division of Toxicology and Environmental Medicine*. Retrieved from <https://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tf.asp?id=47&tid=15>
- Ayala Armijos, J., & Romero Bonilla, H. (2013). Presencia de metales pesados (arsénico y mercurio) en leche de vaca al sur de Ecuador. *La Granja*, 17(1), 36–43.
- Ayar, A., Sert, D., & Akin, N. (2009). The trace metal levels in milk and dairy products consumed in middle Anatolia - Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 152(1–4), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0291-9>
- Azcona-Cruz, I., Ramirez, R., & Vincente-Flores, G. (2015). Efectos tóxicos del plomo. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, 20(1), 72–77. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47345916012%0ACómo>
- Badillo, D. (2016). *Determinación de la presencia de arsénico en leche cruda producida en la parroquia de Machachi*. Universidad Central del Ecuador. Retrieved from

<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/10253>

- Bai, L. Y., Zeng, X. B., Su, S. M., Duan, R., Wang, Y. N., & Gao, X. (2015). Heavy metal accumulation and source analysis in greenhouse soils of Wuwei District, Gansu Province, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(7), 5359–5369. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3763-1>
- Bello, Í., Vera, C., Vera, H., & Anchundia, X. (2016). Determinación de mercurio en enlatados de atún comercial de la ciudad de Manta, provincia de Manabí - Ecuador. *Alimentos Hoy*, 23(36), 70–101.
- Benítez-Rojas, A. C., Delgado-Macuil, R. J., Amador-Espejo, G. G., Eustaquio-Rosales, E., & Martínez-Martínez, Y. L. (2019). Evaluation of Microbiological and Toxicological Quality (Heavy Metals) in Fresh Artisan Cheese Commercialized in Puebla City, Mexico. *ETP International Journal of Food Engineering*, 5(4), 276–281. <https://doi.org/10.18178/ijfe.5.4.276-281>
- Bernal Figueroa, A. A. (2014). Fitorremediación en la recuperación de suelos: una visión general. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. <https://doi.org/10.22490/21456453.1340>
- Bernal, G. (2010). *Las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) Desde La Perspectiva De La Microbiología. XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*. Santo Domingo. Retrieved from <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/1.-Gustavo-Bernal.-Buenas-Practicas-manejo.-Ecuador.-ESPE.pdf>
- Bernhoft, R. A. (2013). Cadmium toxicity and treatment. *The Scientific World Journal*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/394652>
- Buces, F. (2013). *Evaluación de un balanceado a base de harina de zapallo (cucurbita moschata) y tres balanceados comerciales y aditivos alimenticios en la crianza de pollos parrileros. Amaguaña, Pichincha*. Universidad central del Ecuador.
- Bundschuh, J., Nath, B., Bhattacharya, P., Liu, C. W., Armienta, M. A., Moreno López, M. V., ... Filho, A. T. (2012). Arsenic in the human food chain: The Latin American perspective. *Science of the Total Environment*, 429, 92–106.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.09.069>

Calle, P., Monserrate, L., Medina, F., Calle, M., Tirapé, A., Montiel, M., ... José, J. (2018). Mercury assessment , macrobenthos diversity and environmental quality conditions in the Salado Estuary (Gulf of Guayaquil , Ecuador) impacted by anthropogenic influences. *Marine Pollution Bulletin*, 136(March), 365–373. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.09.018>

Cameán, A., & Repetto, M. (Eds.). (2006). *Toxicología Alimentaria*. Madrid - Buenos Aires.

Carrasco, R., & Webster, R. (2016). *Capacidad bioacumuladora de metales pesados en moluscos bivalvos de los esteros del cantón Balao*. Universidad de Azuay.

Carrillo-González, R., González-Chávez, M. C. ., & Navarro-Chávez, M. (2017). Adición De Cal Para Disminuir La Disponibilidad De Elementos Potencialmente Tóxicos En Un Residuo De Mina, *10*, 87–91.

Caruso, J. A., Klaue, B., Michalke, B., & Rocke, D. . (2003). Group assessment: elemental speciation. *Ecology and Transportation Safety*, 56, 32–44. [https://doi.org/10.1016/S0147-6513\(03\)00048-4](https://doi.org/10.1016/S0147-6513(03)00048-4)

Castillo, R. (2019). *Determinación de metales pesados procedentes del proceso eruptivo del volcán Cotopaxi en pasto (Cynodon dactylon) y en los cultivos de papa (Solanum tuberosum), de la zona ganadera de Machachi*. Universidad de las Fuerzas Armadas.

Castro-González, N. P., Calderón-Sánchez, F., Castro de Jesús, J., Moreno-Rojas, R., Tamariz-Flores, J. V., Pérez-Sato, M., & Soní-Guillermo, E. (2018). Heavy metals in cow's milk and cheese produced in areas irrigated with waste water in Puebla, Mexico. *Food Additives and Contaminants: Part B Surveillance*, 11(1), 33–36. <https://doi.org/10.1080/19393210.2017.1397060>

Castro, K. (2015). *Determinación de la concentración de metales pesados (Hg, Pb, Cd) en la ostra (Crassostrea columbiensis) utilizada como biosensor en cuatro localidades de la zona costera de la provincia de El Oro, 2014*. Universidad

Técnica de Machala.

Castro, R. (2017). *Contaminación por metales pesados cadmio y plomo en agua, sedimento y en mejillón *Mytella guyanensis* (LAMARCK, 1819) en los puentes 5 de junio y perimetral (Estero Salado, Guayaquil- Ecuador)*. Universidad de Guayaquil.

Cedeño, M. (2016). *Determinación de cadmio y plomo en muestras de hígado y tejido muscular en cinco especies de peces marinos comerciales*. Universidad de Guayaquil.

Cedeño, M., & Zambrano, D. (2017). *Determinación de metales pesados Cd, Hg, Pb, en concha negra (*Anadara tuberculosa*) del manglar El Salto-Esmeraldas y comparación para exportación al mercado europeo*. Universidad de Guayaquil.

Chavez, E., He, Z. L., Stoffella, P. J., Mylavarapu, R. S., Li, Y. C., Moyano, B., & Baligar, V. C. (2015). Concentration of cadmium in cacao beans and its relationship with soil cadmium in southern Ecuador. *Science of the Total Environment*, 533, 205–214. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.106>

Chiocchetti, G., Jadán-Piedra, C., Vélez, D., & Devesa, V. (2017). *Metal(l)oid contamination in seafood products*. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* (Vol. 57). <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1161596>

Chuquimarca, L. A. (2015). *Contenido de metales pesados (Hg, Pb, Cd), en el tejido blando del quelípedo y hepatopáncreas del cangrejo rojo (*Ucides occidentalis*), en tres localidades del perfil costero de la provincia de El Oro, 2014*. Universidad Técnica de Machala.

Comisión Alimentaria Unión Europea. Reglamento (CE) N° 1881/2006: Contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios (2006).

Comisión Alimentaria Unión Europea. Reglamento (UE) 2018/73: Límites máximos de Residuos de Compuestos de mercurio en determinados productos (2018).

Condor, Fl. (2015). *Determinación de metales pesados en miel de abeja para su evaluación como indicador ambiental en zonas contaminadas, en la provincia de*

Pichincha-Ecuador. Universidad de las Fuerzas Armadas.

Coronel, E. (2018). *Determinación de metales pesados plomo (Pb) y cadmio (Cd) en hortalizas de consumo directo producidas orgánicamente*. Universidad Central del Ecuador.

Correa, M., Bolaños, M., Monsalve, R., Rubio, D., & Salinas, E. (2015). ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE METALES EN AGUAS, SEDIMENTOS Y PECES EN LA CUENCA DEL RÍO SANTIAGO, PROVINCIA DE ESMERALDAS, ECUADOR. *Revista Científica Interdisciplinaria Investigación y Saberes*, (November).

Cumbal, L., Vallejo, P., Rodriguez, B., & Lopez, D. (2010). Arsenic in geothermal sources at the north-central Andean region of Ecuador: Concentrations and mechanisms of mobility. *Environmental Earth Sciences*, 61(2), 299–310. <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0343-7>

Delgado-Zegarra, J., Alvarez-Risco, A., & Yáñez, J. A. (2018). Uso indiscriminado de pesticidas y ausencia de control sanitario para el mercado interno en Perú. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 1–6. <https://doi.org/10.26633/rpsp.2018.3>

Días, L., Mendoza, E., Bravo Bustamante, M., & Domínguez, N. (2018). Determinación de Cadmio y Plomo en almendras de cacao (*Theobroma cacao*), proveniente de fincas de productores orgánicos del cantón Vinces. *Espirales*, 2(15).

FAO, & OMS. Norma general para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos (1995).

FAO, & OMS. (2011). Evaluation of certain contaminants in food. *World Health Organization Technical Report Series*, (959).

FAO, & OMS. (2012). *Prevención y Reducción de la Contaminación de los Alimentos y Piensos*. *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). Roma.

FDA. 21 CFR Part 558. Withdrawal of Approval of New Animal Drug Applications; Carbarstone; Roxarsone, 78 § (2013). Retrieved from <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2013-11-22/pdf/2013-27917.pdf>

- Fiallos, M. (2017). *Cuantificación de metales pesados y calidad microbiológica de frutas y vegetales que se expenden en el mercado mayorista de la ciudad de Ambato - Ecuador*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD.
- Flora, S. J. S., & Agrawal, S. (2017). Arsenic, Cadmium, and Lead. In *Reproductive and Developmental Toxicology* (pp. 537–566). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-804239-7.00031-7>
- Flores, E., Pozo, W., Pernía, B., & Sánchez, W. (2018). Niveles de cadmio en atún fresco y enlatado para consumo humano en Ecuador. *MASKANA*, 9(2), 35–40. <https://doi.org/10.18537/mskn.09.02.05>
- Fytianos, K., Katsianis, G., Triantafyllou, P., & Zachariadis, G. (2001). Accumulation of Heavy Metals in Vegetables Grown in an Industrial Area in Relation to Soil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 67(3), 0423–0430. <https://doi.org/10.1007/s00128-001-0141-8>
- Gaioli, M., Amoedo, D., & Gonz, D. (2012). Impacto del mercurio sobre la salud humana y el ambiente. *Archivo Argentino Pediátrico*, 110(3), 259–264.
- García, P., Esmeralda, P., Cruz, A., & Isabel, M. (2012). Los efectos del cadmio en la salud. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, 17(3), 199–205.
- Gil-Manrique, B., Nateras-Ramírez, O., Martínez-Salcido, A. I., Ruelas-Inzunza, J., Páez-Osuna, F., & Amezcua, F. (2017). Cadmium and lead concentrations in hepatic and muscle tissue of demersal fish from three lagoon systems (SE Gulf of California). *Environmental Science and Pollution Research*, 24(14), 12927–12937. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8901-0>
- González, T., & Banchón, Y. (2019). Estudio de la biometría de anadara tuberculosa (concha prieta) comercializada en el mercado. *Journal of Business and Entrepreneurial Studies*, 3(1), 27–31. <https://doi.org/10.31876/jbes.v3i1.19>
- Hashemi, M. (2018). Heavy metal concentrations in bovine tissues (muscle, liver and kidney) and their relationship with heavy metal contents in consumed feed. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 154(February), 263–267.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.02.058>

Hu, Y., Zhang, W., Cheng, H., & Tao, S. (2017). Public Health Risk of Arsenic Species in Chicken Tissues from Live Poultry Markets of Guangdong Province, China. *Environmental Science and Technology*, 51(6), 3508–3517. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b06258>

Huiracocha, J. (2018). *Evaluación del riesgo toxicológico por cadmio y plomo en granos de arroz (Oryza sativa) comercializados en la ciudad de Cuenca*. Universidad de Cuenca.

INEC. (2019). *ANUARIO DE ESTADÍSTICAS VITALES: NACIDOS VIVOS Y DEFUNCIONES 2018*. Retrieved from https://www.ecuadorencifras.gob.ec/nacimientos_y_defunciones/

INEN. NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2337:2008. Jugos, Pulpas, Concentrados, Nectares, Bebidas De Frutas Y Vegetales. Requisitos (2008). Retrieved from http://apps.normalizacion.gob.ec/filesserver/2018/nte_inen_2337.pdf

INEN. NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1122 : 2013. Quito - Ecuador NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1122:2013 Tercera revisión CAFÉ SOLUBLE. REQUISITOS. Tercera revisión (2013).

Intriago, F., Talledo, M., Cuenca, G., Macías, J., Álvarez, J., & Menjívar, J. (2019). Evaluación del contenido de metales pesados en almendras de cacao (*Theobroma cacao* L) durante el proceso de beneficiado. *PRO-SCIENCES: REVISTA DE PRODUCCIÓN, CIENCIAS E INVESTIGACIÓN*, 3(1881), 17–23.

Islam, M. S., Ahmed, M. K., & Habibullah-Al-Mamun, M. (2015). Metal speciation in soil and health risk due to vegetables consumption in Bangladesh. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(5). <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4533-3>

Jacobo-Estrada, T., Santoyo-Sánchez, M., Thévenod, F., & Barbier, O. (2017). Cadmium handling, toxicity and molecular targets involved during pregnancy: Lessons from experimental models. *International Journal of Molecular Sciences*,

18(7). <https://doi.org/10.3390/ijms18071590>

Järup, L. (2002). Cadmium overload and toxicity. *Nephrology Dialysis Transplantation*, 17(suppl_2), 35–39. https://doi.org/10.1093/ndt/17.suppl_2.35

Jimenez, D. (2012). *Cuantificación de metales pesados (cadmio, cromo, níquel y plomo) en agua superficial, sedimentos y organismos (Crassostrea columbiensis) ostión de mangle en el puente portete del Estero Salado (Guayaquil)*. Universidad de Guayaquil.

Katole, S. B., Kumar, P., & Patil, R. D. (2013). Environmental pollutants and livestock health: a review. *Veterinary Research International Journal*, 1(1), 1–13. Retrieved from www.jakraya.com/journal/vri

Kim, J. A., Park, J. H., & Hwang, W. J. (2016). Heavy metal distribution in street dust from traditional markets and the human health implications. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/ijerph13080820>

Kimakova, T., & Poracova, J. (2011). Mercury Content in Selected Organs of Potato (*Solanum tuberosum*) Plants in the Areas With the Elevated Mercury Soil Content in Slovakia. *Epidemiology*, 22(1), 13–299. <https://doi.org/10.1097/01.ede.0000392592.85886.40>

Kuffó, A. (2013). *Niveles de cadmio, cromo, plomo, y su bioacumulación por Mytella strigata delimitando la zona urbano-marginal en el Estero Salado de Guayaquil*. Universidad de Guayaquil.

Lewis, A. (2007). Organic versus Inorganic Arsenic in Herbal Kelp Supplements. *Environmental Health Perspectives*, 115(12), 574–577. <https://doi.org/10.1289/ehp.10472>

Li, R., Wu, H., Ding, J., Fu, W., Gan, L., & Li, Y. (2017). Mercury pollution in vegetables, grains and soils from areas surrounding coal-fired power plants. *Scientific Reports*, 7(March), 1–9. <https://doi.org/10.1038/srep46545>

Lino, A. S., Galvão, P. M. A., Longo, R. T. L., Azevedo-Silva, C. E., Dorneles, P. R.,

- Torres, J. P. M., & Malm, O. (2016). Metal bioaccumulation in consumed marine bivalves in Southeast Brazilian coast. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 34, 50–55. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2015.12.004>
- Litter, M. (2018). Arsénico en agua. In *Agua + Humedales* (UNSAM Edit). Buenos Aires: : Universidad Nacional de San Martín y Fundación Innovación Tecnológica (FUNINTEC). Retrieved from <https://www.funintec.org.ar/contenidos/aguahumedales-es-el-primer-libro-de-la-serie-futuros/>
- Liu, J., Cao, L., & Dou, S. (2017). Bioaccumulation of heavy metals and health risk assessment in three benthic bivalves along the coast of Laizhou Bay, China. *Marine Pollution Bulletin*, 117(1–2), 98–110. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.062>
- Liu, X., Song, Q., Tang, Y., Li, W., Xu, J., Wu, J., ... Brookes, P. C. (2013). Human health risk assessment of heavy metals in soil-vegetable system: A multi-medium analysis. *Science of the Total Environment*, 463–464, 530–540. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.06.064>
- Londoño Franco, L. F., Londoño Muñoz, P. T., & Muñoz Garcia, F. G. (2016). Los Riesgos De Los Metales Pesados En La Salud Humana Y Animal. *Bioteología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/bsaa(14)145-153)
- López, D. (2017). *Determinación de cadmio y plomo en soya (Glycine max L.) en grano, en polvo y líquida comercializada en la ciudad de Guayaquil-Ecuador*. Universidad de Guayaquil. Retrieved from <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/20968>
- Lynch, H. N., Greenberg, G. I., Pollock, M. C., & Lewis, A. S. (2014). A comprehensive evaluation of inorganic arsenic in food and considerations for dietary intake analyses. *Science of the Total Environment*, 496, 299–313. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.07.032>
- Mahmoud, M. A. M., & Abdel-Mohsein, H. S. (2015). Health Risk Assessment of Heavy Metals for Egyptian Population via Consumption of Poultry Edibles. *Advances in*

Animal and Veterinary Sciences, 3(1), 58–70.
<https://doi.org/10.14737/journal.aavs/2015/3.1.58.70>

Marín, A., Gonzalez, V. H., Lapo, B., Molina, E., & Lemus, M. (2016). Niveles de mercurio en sedimentos de la zona costera de El Oro, Ecuador. *Gayana*, 80(2), 147–153. <https://doi.org/10.4067/S0717-65382016000200147>

Martin, R. S., Witt, M. L. I., Sawyer, G. M., Thomas, H. E., Watt, S. F. L., Bagnato, E., ... Mather, T. A. (2012). Bioindication of volcanic mercury (Hg) deposition around Mt. Etna (Sicily). *Chemical Geology*, 310–311, 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2012.03.022>

Martorell, J. (2010). *Biodisponibilidad De Metales Pesados En Dos Ecosistemas Acuáticos De La Costa Suratlántica Andaluza Afectados Por Contaminación Difusa*. Universidad de Cádiz. Retrieved from https://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/15776/Tes_2010_06.pdf;jsessionid=E37ED02C6A29DCDD1E1122E67E32D922?sequence=1

Medina Pizzali, M., Robles, P., Mendoza, M., & Torres, C. ARSENIC INTAKE : IMPACT IN HUMAN NUTRITION AND HEALTH, 35 Rev. Peru Med. Exp. Salud Publica § (2018). <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.351.3604.93>

Méndez Fajardo, S., Lara Borrero, J. A., Moreno, G., & Ayala, A. (2007). Estudio preliminar de los niveles de cadmio en arroz , fríjoles y lentejas distribuidos en supermercados de bogotá y plazas de manizales. *Fitotecnia Colombiana*, 7, 42–45.

Mendoza, H. (2014). *Niveles de acumulación de metales pesados y contaminantes orgánicos en moluscos bivalvos del género Anadara y su vinculación con actividades económicas en la provincia de Esmeraldas como base para una propuesta de regulación de límites máximos permisibles*. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

MERCOSUR. (2011). Reglamento Técnico MERCOSUR sobre límites máximos de contaminantes inorgánicos en alimentos, (1), 1–18. Retrieved from http://www.puntofocal.gov.ar/doc/r_gmc_12-11.pdf

- Mero, M. (2010). Determinación de metales pesados (Cd y Pb) en moluscos bivalvos de interés comercial de cuatro esteros del Golfo de Guayaquil. *Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales DETERMINACIÓN*, 1–14.
- Mero, M., Arcos, V., Egas, F., Siavichay, R., & Lindao, G. (2012). Determinación de metales pesados (Cd y Pb) en moluscos bivalvos de interés comercial (*Anadara tuberculosa* y *A. grandis*) de Puerto El Morro, Ecuador. *Investigación, Tecnología e Innovación*, 4.
- Mite, F., Carrillo, M., & Durango, W. (2010). *Avances del monitoreo de presencia de cadmio en almendras de cacao, suelos y aguas en Ecuador*.
- Mohammed, A. I., Kolo, B., & Geidam, Y. A. (2013). Heavy Metals in Selected Tissues of Adult Chicken Layers (*Gallus spp*), 3(5), 518–522.
- Molin, M., Ulven, S. M., Meltzer, H. M., & Alexander, J. (2015). Arsenic in the human food chain, biotransformation and toxicology - Review focusing on seafood arsenic. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 31, 249–259. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2015.01.010>
- Molina, E., Marín Medina, A., Lapo Calderón, B., González, V. H., & Lemus, M. (2019). Mercury in aerial and absorbing roots in rhizophora mangle l. Located in the coast of El Oro province, Ecuador. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 35(4), 807–814. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.04.03>
- Moreno-Rojas, R., Sánchez-Segarra, P. J., Cámara-Martos, F., & Amaro-López, M. A. (2010). Heavy metal levels in Spanish cheeses: Influence of manufacturing conditions. *Food Additives and Contaminants: Part B Surveillance*, 3(2), 90–100. <https://doi.org/10.1080/19440049.2010.491838>
- Moreno, E. (2018). *Evaluación de la presencia de arsénico en arroz sin cáscara producido en Ecuador*. Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Morgan, J. N. (1999). Effects of Processing on Heavy Metal Content of Foods. In J. L.S., K. M.G., & M. J.N. (Eds.), *Impact of Processing on Food Safety* (Vol. 459, pp. 195–211). Boston, MA, USA: Springer.

- Moscoso, M. (2018). Bioacumulación de cadmio en hígado de aves de engorde por ingesta de piensos.
- Muhammad, S., Camille, D., Nabeel Khan, N., Sana, K., & Natasha. (2018). No TitleGlobal scale arsenic pollution : increase the scientific knowledge to reduce human exposure. *VertigO - La Revue Électronique En Sciences de l'environnement*. <https://doi.org/10.4000/vertigo.21331>
- Muñoz, J. (2017). *Determinación de Cadmio en fertilizantes , plantas de Oryza sativa L . y suelos de la provincia del Guayas : Propuesta de saneamiento*. Universidad de Guayaquil.
- Muñoz, O., Diaz, O. P., Leyton, I., Nuñez, N., Devesa, V., Súñer, M. A., ... Montoro, R. (2002). Vegetables collected in the cultivated Andean area of Northern Chile: Total and inorganic arsenic contents in raw vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *50*(3), 642–647. <https://doi.org/10.1021/jf011027k>
- Nachman, K. E., Baron, P. A., Raber, G., Francesconi, K. A., Navas-Acien, A., & Love, D. C. (2013). Roxarsone, inorganic arsenic, and other arsenic species in chicken: A U.S.-based market basket sample. *Environmental Health Perspectives*, *121*(7), 818–824. <https://doi.org/10.1289/ehp.1206245>
- Naula, M. G. (2012). *Determinación de la presencia de arsénico en balanceados, gallinazas y vísceras de pollos*. Universidad San Francisco de Quito. Retrieved from <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/2217>
- Nava-Ruíz, C., & Méndez-Armenta, M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Arch Neurociencias*, *16*(3), 140–147.
- Navarrete-Forero, G., Morales Baren, Lady, Dominguez-Granda, L., Pontón Cevallos, J., & Marín Jarrín, J. R. (2019). Heavy metals contamination in the gulf of guayaquil: Even limited data reflects environmental impacts from anthropogenic activity. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, *35*(3), 731–755. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.03.18>
- Nwidu, L. L., & Ohemu, T. L. (2017). Hematotoxicity status of lead and three other

- heavy metals in cow slaughtered for human consumption in Jos, Nigeria. *Journal of Toxicology and Environmental Health Sciences*, 9(9), 83–91. <https://doi.org/10.5897/jtehs2017.0399>
- Oberoi, S., Barchowsky, A., & Wu, F. (2014). The global burden of disease for skin, lung, and bladder cancer caused by arsenic in food. *Cancer Epidemiology Biomarkers and Prevention*, 23(7), 1187–1194. <https://doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-13-1317>
- OMS. (2018). Arsénico. Retrieved from <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>
- Ordoñez, C. (2017). *Determinación de la presencia de arsénico en la carne de muslos y alas del pollo de engorde (Gallus domesticus) comercializado en el mercado “La Terminal” de Retalhuleu*. Universidad de San Carlos de Guatemala. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.51.6.1173>
- Ordoñez, M. (2015). *Bioacumulación de metales pesados (Pb, Hg, Cd) en el bivalvo Anadara tuberculosa en cuatro localidades (Bajo Alto, Estero Huayla, Puerto Hualtaco y Archipiélago de Jambelí) de la región costera de la provincia de El Oro*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA.
- Orisakwe, O. E., Nduka, J. K., Amadi, C. N., Dike, D. O., & Bede, O. (2012). Heavy metals health risk assessment for population via consumption of food crops and fruits in Owerri, South Eastern, Nigeria. *Chemistry Central Journal*, 6(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-6-77>
- Ortega, C. (2015). *Cuantificación de las concentraciones de metales pesados (Hg, Cu, Ni, Zn, Cd, Pb y Mn) por espectrometría de absorción atómica en peces del estero Huaylá (Diapterus peruvians y Sardinops sagax), Puerto Bolívar, cantón Machala, provincia de El Oro, 2014*. Universidad Técnica de Machala.
- Otchere, F. (2019). A 50-year review on heavy metal pollution in the environment: Bivalves as bio-monitors. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 13(6), 220–227. <https://doi.org/10.5897/ajest2018.2597>

- Pan, X. D., Wu, P. G., & Jiang, X. G. (2016). Levels and potential health risk of heavy metals in marketed vegetables in Zhejiang, China. *Scientific Reports*, 6, 1–7. <https://doi.org/10.1038/srep20317>
- Pandey, B., Suthar, S., & Singh, V. (2016). Accumulation and health risk of heavy metals in sugarcane irrigated with industrial effluent in some rural areas of Uttarakhand, India. *Process Safety and Environmental Protection*, 102, 655–666. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.05.024>
- Pernía, B., Mero, M., Bravo, K., Ramírez, N., Lopez, D., Muñoz, J., & Egas, F. (2015). Detección de cadmio y plomo en leche de vaca comercializada en la ciudad de Guayaquil, Ecuador Cadmium and lead levels in cow's milk. *Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales*, (January).
- Pernía, B., Mero, M., Muñoz, J., Morán, N., Zambrano, J., Cornejo, X., ... Torres, G. (2016). *Plantas acuáticas con potencial para fitoextracción de Cadmio en arrozales del Cantón Daule, provincia del Guayas, Ecuador. Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales* (Vol. 10).
- Pozo, W., Sanfeliu, T., & Carrera, G. (2011). Metales pesados en humedales de arroz en la cuenca baja del río Guayas. *Maskana*, 2(1), 17–30. <https://doi.org/10.18537/mskn.02.01.02>
- Prieto, F., Judith, G., Hernández, C., Ángeles, M. D. L., Gaytán, J., Enrique, I., ... Lechuga, M. D. L. Á. (2005). Acumulación en tejidos vegetales de arsénico proveniente de aguas y suelos de Zimapán, Estado de Hidalgo, México. *Bioagro*, 17(3), 129–135.
- Prieto Méndez, J., González, C., Román, A., & Prieto García, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua Tropical and Subtropical Agroecosystems. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29–44.
- Queirolo, F., Stegen, S., Restovic, M., Paz, M., Ostapczuk, P., Schwuger, M. J., & Muñoz, L. (2000). Total arsenic, lead, and cadmium levels in vegetables cultivated

- at the Andean villages of northern Chile. *Science of the Total Environment*, 255(1–3), 75–84. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00450-2](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00450-2)
- Quishpe Bahamontes, M. (2014). *Respuesta de dos sistemas de alimentación y dos aditivos en pollos parilleros nanegal, Pichincha*. Universidad Central del Ecuador.
- Quishpe, K. (2016). *Determinación microbiológica y de metales pesados en jugos de alfalfa (Medicago sativa) usado en la preparación de jugos naturales de fruta, expendidos en los diferentes mercados del Distrito Metropolitano de Quito*. Universidad Politécnica Salesiana. Retrieved from <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>
- Ramírez, A. (2002). Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. *Red de Revistas Científicas de America Latina y El Caribe, España y Portugal*, 63(1), 51–64. Retrieved from <https://www.redalyc.org/html/379/37963107/>
- Redacción Sociedad. (2015). Los pollos criados en granjas tendrían componentes prohibidos , como el 3-Nitro. *El Telégrafo*, 2015.
- Reyes, Y. C., Vergara, I., Torres, O. E., Díaz, M., & González, E. E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16(2), 66–77.
- Riofrío, D. (2016). *BIOMONITOREO DE MERCURIO EN BIVALVO ANADARA GRANDIS EN TRES LOCALIDADES DE LA REGIÓN COSTERA DE LA PROVINCIA DE EL ORO*. Universidad Técnica de Machala.
- Rodriguez, F. (2013). *Cuantificación de Cadmio, Plomo y Niquel en agua superficial, sedimento y organismo (Mytella guayasensis) en los puentes Portete y 5 de Junio del Estero Salado (Guayaquil)*. Universidad de Guayaquil. Retrieved from [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/1682/1/Cuantificación de cadmio%20 plomo y níquel en agua superficial%20 sedimento y organismo..Rodríguez%20 Flores.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/1682/1/Cuantificación%20de%20cadmio%20plomo%20y%20níquel%20en%20agua%20superficial%20sedimento%20y%20organismo..Rodríguez%20Flores.pdf)

- Rodríguez Heredia, D. (2017). Intoxicación ocupacional por metales pesados. *MEDISAN*, 21(12), 7003–7016. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=368454498012%0ACómo>
- Rubio, C., Gutiérrez, A. ., Martín Izquierdo, R. ., Revert, C., Lozano, G., & Hardisson, A. (2004). El plomo como contaminante alimentario. *Revista de Toxicología*, 21(2–3). Retrieved from <https://www.redalyc.org/html/919/91921303/>
- Sánchez, C. (2019). *Determinación de cadmio en chocolate en polvo comercializado en el cantón Guayaquil, provincia del Guayas -Ecuador*. Universidad de Guayaquil.
- Sanin, L. H., González-Cossío, T., Romieu, I., & Hernández-Avila, M. (1998). Acumulacion de plomo en hueso y sus efectos en la salud. *Salud Publica de Mexico*, 40(4), 359–368. <https://doi.org/10.1590/s0036-36341998000400009>
- Sankhla, M. S., Kumari, M., Nandan, M., Kumar, R., & Agrawal, P. (2016). Heavy Metals Contamination in Water and Their Hazardous Effect on Human Health-A Review. *SSRN Electronic Journal*, 5(10), 759–766. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3428216>
- Satarug, S., Garrett, S. H., Sens, M. A., & Sens, D. A. (2010). Cadmium, environmental exposure, and health outcomes. *Environmental Health Perspectives*, 118(2), 182–190. <https://doi.org/10.1289/ehp.0901234>
- Selbst, S. (2001). Envenenamiento por plomo en los niños. *Arch. Pediatr. Urug*, 72, 38–44.
- Senior, W., Cornejo-Rodríguez, M. H., Tobar, J., Ramírez-Muñoz, M., & Márquez, A. (2016). Metales pesados (cadmio, plomo, mercurio) y arsénico en pescados congelados de elevado consumo en Ecuador. *Zootecnia Trop.*, 34 (2)(January 2016), 143–153.
- Shaheen, N., Irfan, N. M., Khan, I. N., Islam, S., Islam, M. S., & Ahmed, M. K. (2016). Presence of heavy metals in fruits and vegetables: Health risk implications in Bangladesh. *Chemosphere*, 152, 431–438.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.02.060>

Siavichay, B. (2013). *DETERMINACIÓN DE CADMIO Y PLOMO EN EL TEJIDO BLANDO, HEPATOPÁNCREAS DEL CANGREJO ROJO (UCIDES OCCIDENTALIS) Y SEDIMENTO DE LA RESERVA ECOLÓGICA MANGLARES CHURUTE*. Universidad de Guayaquil.

Siguenza, J. (2016). *DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS, ARSÉNICO, CADMIO, Y PLOMO EN CONCHAS PRIETA (Anadara Tuberculosa), EXTRAÍDOS DE LA DESEMBOCADURA DEL RÍO PITAL*. Universidad de Azuay.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Sinchi, I. (2019). *DETERMINACIÓN DE PLOMO EN SUELO Y ARROZ (Oryza sativa L.) EN DOS CANTONES DE LA PROVINCIA DEL GUAYAS*. Universidad De Guayaquil.

Smith, A., Lingas, E., & Rahman, M. (2000). Contamination of drinking-water by arsenic in Bangladesh: a public health emergency: RN - Bull. W.H.O., v. 78, p. 1093-1103. *Bulletin of the World Health Organization*, 78(9), 1093–1103.

Song, D., Zhuang, D., Jiang, D., Fu, J., & Wang, Q. (2015). Integrated health risk assessment of heavy metals in Suxian county, South China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(7), 7100–7117.
<https://doi.org/10.3390/ijerph120707100>

Spanopoulos-Zarco, P., Ruelas-Inzunza, J. R., Meza-Montenegro, M. M., Bojórquez-Leyva, H., & Páez-Osuna, F. (2019). Distribution and health risk assessment of Cd and Pb in two marine fishes (*Haemulopsis axillaris* and *Diapterus peruvianus*) from the Eastern Pacific. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(17), 17450–17456. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05136-8>

Sultana, M. S., Rana, S., Yamazaki, S., Aono, T., & Yoshida, S. (2017). Health risk assessment for carcinogenic and non-carcinogenic heavy metal exposures from vegetables and fruits of Bangladesh. *Cogent Environmental Science*, 3(1).
<https://doi.org/10.1080/23311843.2017.1291107>

- Tobar, J., Ramírez-Muñoz, M., Fermín, I., & Senior, W. (2017). Concentración de metales pesados en bivalvos *Anadara tuberculosa* Y *A. Similis* del Estero Huaylá, provincia de El Oro, Ecuador. *Boletín Del Centro de Investigaciones Biológicas*, 43(4), 541–555.
- Tóth, G., Hermann, T., Da Silva, M. R., & Montanarella, L. (2016). Heavy metals in agricultural soils of the European Union with implications for food safety. *Environment International*, 88, 299–309. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.12.017>
- Valdés, F., & Cabrera M, V. (1999). La contaminación por metales pesados en Torreón, Coahuila, México. *Texas Center for Policy Studies, Primera ed*, 50. Retrieved from <http://www.texascenter.org/publications/torreon.pdf>
- Villaamil Lepori, E. C. (2015). Hidroarsenicismo crónico regional endémico en Argentina Chronic endemic regional hydroarsenicism. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 49(1), 83–104.
- Villarreal, D., Sánchez, J., & Cañarte, J. (2016). Comparación y valoración de mercurio (Hg) y cadmio (Cd) en la especie Dorado (*Coryphaena hippurus*) que se consume en Manta, Ecuador. *La Técnica: Revista de Las Agrociencias*, (16), 32. https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i16.533
- Viñan, J. (2019). *Determinación de plomo en café industrial y artesanal comercializados en la provincia de Loja*. Universidad de Guayaquil.
- Wang, Q., Zhang, J., Xin, X., Zhao, B., Ma, D., & Zhang, H. (2016). *The accumulation and transfer of arsenic and mercury in the soil under a long-term fertilization treatment. Journal of Soils and Sediments* (Vol. 16). <https://doi.org/10.1007/s11368-015-1227-y>
- Wang, W. X., & Lu, G. (2017). *Heavy Metals in Bivalve Mollusks. Chemical Contaminants and Residues in Food: Second Edition*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100674-0.00021-7>
- Wang, X., Zhang, Y., Geng, Z., Liu, Y., Guo, L., & Xiao, G. (2019). Spatial analysis of

- heavy metals in meat products in China during 2015–2017. *Food Control*, 104(December 2018), 174–180. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.04.033>
- Xia, H., Chi, X., & Cheng, W. (2009). Uptake and growth response of *Saccharum Officinarum* to lead pollution in soil. *3rd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, ICBBE 2009*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICBBE.2009.5163728>
- Xia, H., Yan, Z., Chi, X., & Cheng, W. (2009). Evaluation of the phytoremediation potential of *Saccharum Officinarum* for Cd-contaminated soil. *2009 International Conference on Energy and Environment Technology, ICEET 2009*, 3(c), 314–318. <https://doi.org/10.1109/ICEET.2009.541>
- Yadav, D., Jain, R., & Rai, R. (2010). Impact of Heavy Metals on Sugarcane. In I. Sherameti & A. Varma (Eds.), *Soil Heavy Metals* (Vol. 19, pp. 1–18). https://doi.org/10.1007/978-3-642-02436-8_16
- Yan, Z., & Xia, H. (2010). Evaluation of the phytoremediation potential of sugarcane for metal-contaminated soils. *2010 4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, ICBBE 2010*. <https://doi.org/10.1109/ICBBE.2010.5517419>
- Yu, H., Li, J., & Luan, Y. (2018). Meta-analysis of soil mercury accumulation by vegetables. *Scientific Reports*, 8(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-19519-3>
- Yulianto, B., Oetari, P. S., Februhardi, S., Putranto, T. W. C., & Soegianto, A. (2019). Heavy metals (Cd, Pb, Cu, Zn) concentrations in edible bivalves harvested from Northern Coast of Central Java, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 259(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/259/1/012005>
- Zhou, H., Yang, W. T., Zhou, X., Liu, L., Gu, J. F., Wang, W. L., ... Liao, B. H. (2016). Accumulation of heavy metals in vegetable species planted in contaminated soils and the health risk assessment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/ijerph13030289>

