



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Farmacia y Bioquímica

Escuela Profesional de Toxicología

Evaluación de plomo y cadmio en fresas (*Fragaria ananassa*) expendidas en tres principales mercados mayoristas de Lima Metropolitana

TESIS

Para optar el Título Profesional de Toxicólogo

AUTOR

María Iris OCHOA SANTIAGO

Lizbeth Milagros PUMAYAULI ALMANZA

ASESOR

Jesús Víctor LIZANO GUTIÉRREZ

Lima, Perú

2023



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Ochoa M, Pumayauli L. Evaluación de plomo y cadmio en fresas (*Fragaria ananassa*) expendidas en tres principales mercados mayoristas de Lima Metropolitana [Tesis de pregrado]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Escuela Profesional de Toxicología; 2023.

Metadatos complementarios

Datos de autor 1	
Nombres y apellidos	María Iris Ochoa Santiago.
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	73199684
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0001-9327-6844
Datos de autor 2	
Nombres y apellidos	Lizbeth Milagros Pumayauli Almanza
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	47223740
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0003-5022-8409
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Jesús Víctor Lizano Gutiérrez
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	09148490
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-8926-1893
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Luis Alberto Rojas Ríos
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09738868

Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Gloria Marina Marín Vallejos.
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Elizabeth Liz Chávez Hidalgo
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	
Datos de investigación	
Línea de investigación	3.01.07 -- Toxicología
Grupo de investigación	No aplica
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Facultad Farmacia y Bioquímica - UNMSM País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Lima Latitud: -12.055283 Longitud: -77.023522
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2017 - 2018
URL de disciplinas OCDE	Toxicología https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#3.01.07



Universidad Nacional Mayor de San Marcos:
Universidad del Perú. Decana de
América Facultad de Farmacia y
Bioquímica Decanato



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los miembros del Jurado Examinador y Calificador de la Tesis titulada:

Evaluación de plomo y cadmio en fresas (*Fragaria ananassa*) expendidas en tres principales mercados mayoristas de Lima Metropolitana

Que presentan las Bachilleres en Toxicología:

**MARÍA IRIS OCHOA SANTIAGO Y
LIZBETH MILAGROS PUMAYAULI ALMANZA**

Que reunidos en la fecha se llevó a cabo la **SUSTENTACIÓN** de la **TESIS**, y después de las respuestas satisfactorias a las preguntas y objeciones formuladas por el Jurado, ha obtenido la siguiente calificación final:


18 dieciocho Aprobado con Mención Honoraria

de conformidad con el Art. 14.º del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos para la obtención del Título Profesional de Toxicólogo (a) de la Facultad de Farmacia y Bioquímica.

Lima, 20 de setiembre de 2023.


Mg. Luis Alberto Rojas Ríos
Presidente


Mg. Gloria Marina Marín Vallejos
Miembro


Mg. Elizabeth Liz Chávez Hidalgo
Miembro

"FARMACIA ES LA PROFESIÓN DEL MEDICAMENTO, DEL ALIMENTO Y DEL TÓXICO"



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Peru. Decana de America



FACULTAD DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE TOXICOLOGÍA

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, **Jesus Victor Lizano Gutierrez**, identificado con DNI N° 09148490 en mi condicion de asesor acreditado con la Resolucion Decanal N°000439-2023-D-FFB/UNMSM de la Tesis, cuyo titulo es: **Evaluacion de plomo y cadmio en fresas (*Fragaria ananassa*) expendidas en tres principales mercados mayoristas de Lima Metropolitana** presentado por las bachilleres **Maria Iris Ochoa Santiago y Lizbeth Milagros Pumayauli Almanza** para optar el titulo profesional de Toxicologo (a).

CERTIFICO: que se han cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Academicos, de Investigation y Production Intelectual. Segun la revision, analisis y evaluacion mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de 8 % de similitud, nivel PERMITIDO para continuar con los tramites correspondientes y para su publicacion en el repositorio institucional.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, para la obtencion del titulo profesional de Quimico Farmaceutico.

Jardin Botanico, 06 de febrero de 2024

Firma del Asesor

DNI: 09148490

Nombres y apellidos del Asesor:

Jesus Victor Lizano Gutierrez



DEDICATORIA

A mi padre Lidio por su apoyo incondicional y su valentía al sacrificarse por su familia.

A mi madre Ceferina por su bello amor, los valores inculcados y por ser la persona quien estuvo en cada amanecida, antes y durante mi vida universitaria.

A mis hermanos Erika, Luz y Julián por su compañía y sus palabras de ánimos que tuvieron un significado inmenso.

A mis sobrinos, que son mi inspiración para no rendirme.

A todas aquellas personas que me motivaron a seguir y culminar con la tesis, en especial a mi compañera de tesis, Lizbeth.

María Ochoa Santiago

A mi padre Oscar por enseñarme que, con esfuerzo y dedicación es posible lograr todo lo que me proponga y porque sé que estaría orgulloso de mi al verme cumplir una de mis metas, un saludo al cielo papá.

A mi madre Catalina, por su amor, paciencia y apoyo incondicional en cada paso que doy. Gracias, mamá, por estar siempre a mi lado, eres mi motivación y este logro es para ti también.

A mis hermanos Elizabeth y John, por su tiempo y sus palabras de aliento que me ayudaron a no rendirme ante el cansancio.

A mis amigos Alejandro y Jorge, por su amistad y sus orientaciones en el ámbito profesional.

A mi compañera de tesis María y a todos los que hicieron posible la realización y culminación de este trabajo de investigación.

Lizbeth Pumayauli Almanza

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial a Dios por la buena salud, por la familia otorgada y por ser guía en nuestro camino.

A cada docente universitario de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos por su contribución en nuestra formación profesional y personal.

A nuestro asesor Mg. Jesús Víctor Lizano Gutiérrez, por su orientación en todo el proceso de la elaboración de nuestra tesis y sus consejos para la culminación del presente trabajo.

Al director del Centro de información, Control Toxicológico y Apoyo a la Gestión Ambiental – CICOTOX, Dr. José A. Apesteguía Infantes y a los compañeros por su apoyo.

A los señores miembros del Jurado Calificador y Examinador:

Mg. Luis Alberto Rojas Ríos

Mg. Gloria Marina Marín Vallejos

Mg. Elizabeth Liz Chávez Hidalgo

Por sus recomendaciones, aportes y sugerencias que permitieron mejorar nuestra tesis.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ABREVIATURAS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo general	3
1.2.2. Objetivos específicos	3
1.3. Importancia y alcance de la investigación	4
1.4. Limitaciones de la investigación	4
II. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes del estudio	5
2.2. Bases teóricas	7
1.2.1. Fresa	7
1.2.1.1. Características generales	7
1.2.1.2. Clasificación Taxonómica	7
1.2.1.3. Características morfológicas	8
1.2.1.4. Variedad	10
1.2.1.5. Importancia nutricional	10
1.2.1.6. Condiciones ambientales de cultivo	11
1.2.1.7. Mercado peruano	12
2.2.2. Plomo	15
2.2.2.1. Aspectos generales	15
2.2.2.2. Propiedades físicas y químicas	15
2.2.2.3. Distribución y usos	16
2.2.2.4. Fuentes y vías de exposición	17
2.2.2.5. Toxicocinética	20
2.2.2.6. Toxicodinamia	23
2.2.2.7. Efecto sobre la salud humana	24
2.2.3. Cadmio	26
2.2.3.1. Aspectos generales	26
2.2.3.2. Propiedades físicas y químicas	27
2.2.3.3. Distribución y usos	28

2.2.3.4. Fuentes y vías de exposición	29
2.2.3.5. Toxicocinética	32
2.2.3.6. Toxicodinamia	35
2.2.3.7. Efecto sobre la salud humana	36
2.2.4. Técnica analítica en la determinación de metales en alimentos	38
2.2.4.1. Espectrometría de absorción atómica	39
2.2.4.2. Fundamento de la espectrometría de absorción atómica acoplado con horno grafito	40
2.2.5. Normatividad	40
2.2.5.1. Internacional	40
2.2.5.2. Nacional	41
2.3. Glosario de términos	42
III. VARIABLES	44
3.1. Variables	44
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	44
4.1. Área de estudio	44
4.2. Tipo de investigación	44
4.3. Población y muestra	44
4.4. Procedimientos, técnicas e instrumentos de recolección de información	45
4.4.1. Técnica de recolección de muestra	45
4.4.2. Técnica analítica de la determinación de metales en alimentos	45
4.4.3. Equipos, reactivos y materiales	45
4.4.5. Procedimiento Experimental	46
4.4.6. Determinación de plomo	47
4.4.7. Determinación de cadmio	49
4.5. Análisis estadístico	50
V. RESULTADOS	51
5.1. Presentación y análisis de los resultados	51
VI. DISCUSIÓN	59
VII. CONCLUSIONES	63
VIII. RECOMENDACIONES	64
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
X. ANEXOS	84
Anexo 1. Resultados de los análisis de plomo y cadmio del CICOTOX - UNMSM	84
Anexo 2. Registros fotográficos	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía de la fresa	7
Tabla 2. Límites máximos permisibles según Codex	40
Tabla 3. Límites máximos permisibles según Unión Europea	41
Tabla 4. Concentración y absorbancias de los estándares de plomo	47
Tabla 5. Parámetros espectrofotométricos del plomo	48
Tabla 6. Parámetros de la cámara de grafito del plomo	48
Tabla 7. Concentración y absorbancias de los estándares de cadmio	49
Tabla 8. Parámetros espectrofotométricos del cadmio	50
Tabla 9. Parámetros de la cámara de grafito del cadmio	50
Tabla 10. Concentración de plomo (mg/kg) en fresas	51
Tabla 11. Porcentajes de las concentraciones de plomo (mg/kg) en fresas que superan lo establecido por la UE	52
Tabla 12. Media de los niveles del plomo en fresas según el mercado mayorista de Lima	53
Tabla 13. Comparación de la media de los niveles de plomo en fresas con los LMP dados por la UE	54
Tabla 14. Concentración de cadmio (mg/kg) en muestras de fresas	55
Tabla 15. Porcentajes de las concentraciones de cadmio (mg/kg) en fresas que superan lo establecido por la UE	56
Tabla 16. Media de los niveles de cadmio en fresas según el mercado mayorista de Lima	57
Tabla 17. Comparación de la mediana de los niveles de cadmio en fresas con los LMP dados por UE	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Planta de Fresa	8
Figura 2. Yemas del rizoma de la fresa	8
Figura 3. Partes de la <i>Fragaria</i>	9
Figura 4. Canales de distribución de las frutas en el mercado	12
Figura 5. Disposición de mercados de abastos, según los distritos de Lima Metropolitana	13
Figura 6. Calendario de cosecha de la fresa	14
Figura 7. Departamentos con mayor cosecha de fresas	14
Figura 8. Toxicocinética del plomo en el cuerpo humano	23
Figura 9. Toxicocinética del cadmio en el cuerpo humano	35
Figura 10. Curva de calibración de plomo	47
Figura 11. Curva de calibración de cadmio	49
Figura 12. Comparación de los niveles de plomo en fresas con los LMP dados por la UE	52
Figura 13. Porcentajes de los niveles de plomo que superan lo establecido por la UE	53
Figura 14. Comparación de los niveles de cadmio en fresas con los LMP dados por la UE	56
Figura 15. Porcentajes de los niveles de cadmio que superan lo establecido por la UE	57
Figura 16. Correlación de Spearman entre las concentraciones de plomo y cadmio en fresas	58

ABREVIATURAS

AD: Anderson-Darling.

ALAD: δ -aminolevulínico deshidrasa.

AMPc: Adenosín monofosfato cíclico.

CE: Conformidad Europea.

CICOTOX: Centro de Información, Control Toxicológico y Apoyo a la Gestión Ambiental.

DMT1: Transportador de metales divalente.

EPA: Agencia de Protección Ambiental.

FAAS: Espectrometría de Absorción Atómica por Llama.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

GFAAS: Espectrometría de absorción atómica con horno grafito.

GSH: Glutatión reducido.

HDL: Lipoproteínas de alta densidad.

IARC: Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer.

ICP-MS: Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente.

ICP-OES: Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Acoplado Inductivamente.

IDA: Ingesta diaria admisible.

LDL: Lipoproteínas de baja densidad.

LMP/PML: Límite máximo permisible

MDA: Malondialdehído.

MT: Metalotioneína.

NAG: Actividad N-acetil- β -glucosaminidasa.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

PVC: Cloruro de polivinilo.

RBP: Proteína de unión a retinol.

ROS: Especies reactivas de oxígeno.

SENASA: Servicio Nacional en Sanidad Agraria.

SINIA: Sistema Nacional de Inocuidad Agroalimentaria.

SISAP: Sistema de Abastecimientos y Precios.

TP: Túbulo proximales.

UE: Unión Europea.

RESUMEN

La contaminación ambiental es uno de los problemas más importantes que recae sobre la población en general, debido a la presencia de contaminantes como metales pesados. *Fragaria ananassa* (Fresa) es un alimento de consumo masivo y fruto de una especie de planta rastrera, por lo que está expuesta a diferentes contaminantes. El objetivo de la presente investigación fue evaluar la concentración de plomo y cadmio en fresas expandidas en tres principales mercados mayoristas de Lima Metropolitana: Mercado Mayorista N° 2 de Frutas, Mercado de Frutas y Gran Mercado Mayorista de Santa Anita. El diseño de estudio fue no experimental, corte transversal y muestreo no probabilístico; la técnica analítica utilizada fue la espectrometría de absorción atómica con horno grafito (GFAAS) realizado en el CICOTOX. Los resultados obtenidos fueron una concentración media de plomo en fresas de 0.083 mg/kg (LMP: 0.10mg/kg) y una concentración media de cadmio de 0.027 mg/kg (LMP: 0.03mg/kg). Por lo tanto, se concluye que las concentraciones de plomo y cadmio en fresas expandidas en los tres mercados mayoristas de Lima Metropolitana no sobrepasan los límites máximos permisibles recomendado por la Unión Europea; sin embargo, estos valores se encuentran muy cercanos a los límites establecidos.

Palabras clave: *Fragaria*, metales, absorción atómica, límites permisibles.

ABSTRACT

Environmental pollution is one of the most important problems that affect the population in general, due to the presence of pollutants such as heavy metals. *Fragaria ananassa* (Strawberry) is a mass consumption food and fruit of a kind of creeping plant, which is why it is exposed to different contaminants. The objective of the present investigation was to evaluate the concentration of lead and cadmium in strawberries sold in three main wholesale markets of Lima Metropolitana: Mercado Mayorista N° 2 de Frutas, Mercado de Frutas and Gran Mercado Mayorista de Santa Anita. The study design was non-experimental, cross-sectional and non-probabilistic sampling; the analytical technique used was graphite furnace atomic absorption spectrometry (GF-AAS) performed at CICOTOX. The results obtained were a mean lead concentration in strawberries of 0.083 mg/kg (PML: 0.10mg/kg) and a mean cadmium concentration of 0.027 mg/kg (PML: 0.03mg/kg). Therefore, it is concluded that the concentrations of lead and cadmium in strawberries sold in the three wholesale markets of Lima Metropolitana do not exceed the maximum permissible limits recommended by the European Union; however, these values are very close to the established limits.

Key words: *Fragaria*, metals, atomic absorption, permissible limits.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

La contaminación ambiental es uno de los problemas de gran importancia que repercute sobre la sociedad actual, debido a la presencia de contaminantes como los metales pesados¹. Si bien es cierto éstos se encuentran de forma natural en la litosfera, hidrósfera y atmósfera a concentraciones que no afectan las diversas formas de vida, el incremento intenso y constante de las actividades antropogénicas ha provocado un aumento de estas concentraciones en los diferentes componentes de la corteza terrestre².

Los metales pesados se caracterizan por tener una alta densidad con valores mayores de 4.5 g/cm^3 y ser persistentes, es decir que no pueden ser creados ni destruidos ya sea por vía natural o antropogénica. Sin embargo, cuando ingresan a los ecosistemas acuáticos, se transforman mediante procesos biogeoquímicos, y de acuerdo a sus características fisicoquímicas se distribuyen a diversas especies como material particulado, coloidal y especies disueltas. El material particulado y coloidal de forma orgánica o inorgánica adquiere especial importancia en los procesos de adsorción, coagulación y sedimentación ya que afecta los tiempos de permanencia y transporte de trazas de metales en aguas, sedimentos, plantas y otras matrices³.

A nivel mundial, la contaminación de agua por metales pesados afecta principalmente la seguridad alimentaria y salud pública. Diversos estudios recientes demuestran la presencia de metales pesados en alimentos, encontrándose plomo, cadmio, mercurio, arsénico, zinc y cromo en alimentos tales como lechuga, papa, calabaza y brócoli, siendo uno de los causales el uso de aguas contaminadas para riego^{4, 5}. En algunas otras especies de alimentos como carnes, pescado y frutas también se ha encontrado concentraciones de cadmio con valores que varían de 1 a $50 \text{ } \mu\text{g/kg}$ y en algunos granos de 10 a $150 \text{ } \mu\text{g/kg}$. En general, se han reportado principalmente cuatro elementos en alimentos los cuales son el plomo, cadmio, mercurio y arsénico los que requieren ser evaluados y monitoreados por su gran

impacto sobre la salud humana¹. En este contexto, los organismos internacionales como la Comisión del Codex Alimentarius y la Unión Europea establecieron normativas sobre los límites máximos permisibles de contaminantes a fin de garantizar la inocuidad y seguridad alimentaria^{6, 7}.

En el Perú, se ha registrado la presencia de metales pesados en vegetales que se expenden en mercados mayoristas, lo que reafirma la problemática que implica la ingesta de alimentos contaminados con metales traza en la población en general⁸. Existen normativas a nivel nacional sobre vigilancia sanitaria de alimentos agropecuarios que se expenden en mercados mayoristas; sin embargo, no existe normativa sobre límites máximos permisibles de metales pesados en alimentos, por lo que la calidad de este tipo de alimentos es desconocida por parte de los proveedores y consumidores⁹. *Fragaria ananassa* (Fresa) es un alimento agropecuario de consumo masivo y fruto de una especie de planta rastrera, por lo que está expuesta a diferentes contaminantes provenientes del suelo, agua o aire, entre los que destacan los metales pesados como plomo y cadmio¹⁰. Frente a la situación descrita, se planteó como problema de investigación ¿Cuál es la concentración de plomo y cadmio en *Fragaria ananassa* (Fresas) expandidas en tres principales mercados mayoristas de Lima Metropolitana?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar la concentración de plomo y cadmio en *Fragaria ananassa* (Fresas) expendidas en tres principales mercados mayoristas de Lima Metropolitana: Mercado Mayorista N° 2 de Frutas, Mercado Modelo de Frutas y Gran Mercado Mayorista de Santa Anita.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Determinar la concentración de plomo en *Fragaria ananassa* (Fresas) expendidas en tres principales mercados mayoristas de Lima Metropolitana: Mercado Mayorista N° 2 de Frutas, Mercado Modelo de Frutas y Gran Mercado Mayorista de Santa Anita.
2. Comparar la concentración de plomo en *Fragaria ananassa* (Fresas) con los límites máximos permisibles dados por la Unión Europea.
3. Determinar la concentración de cadmio en *Fragaria ananassa* (Fresas) expendidas en tres principales mercados mayoristas de Lima Metropolitana: Mercado Mayorista N° 2 de Frutas, Mercado Modelo de Frutas y Gran Mercado Mayorista de Santa Anita.
4. Comparar la concentración de cadmio en *Fragaria ananassa* (Fresas) con los límites máximos permisibles dados por la Unión Europea.
5. Establecer si existe correlación entre las concentraciones de plomo y cadmio en *Fragaria ananassa* (Fresas) expendidas en tres mercados mayoristas de Lima metropolitana: Mercado Mayorista N° 2 de Frutas, Mercado Modelo de Frutas y Gran Mercado Mayorista de Santa Anita.

1.3. Importancia y alcance de la investigación

Actualmente, en el Perú han crecido las exportaciones de alimentos agropecuarios; entre los que destaca la *Fragaria ananassa* (Fresas). Entre las principales regiones de producción de fresas en el Perú se encuentran Lima (Huaral, Huaura, Cañete, Barranca), Apurímac, Ica, Arequipa y La Libertad, las cuales distribuyen las fresas para consumo nacional a los distintos mercados mayoristas; en el caso de Lima Metropolitana existen 5 principales mercados mayoristas, según el Ministerio de Agricultura y Riego^{11, 12}. *Fragaria ananassa* (Fresas) al ser un fruto de una especie de planta rastrera que es cultivada en un sistema abierto, está expuesto a diferentes contaminantes¹³, entre ellos la incorporación de metales pesados como plomo y cadmio a través del suelo, aire o agua de riego contaminada. Aunque, existen normativas sobre vigilancia sanitaria de alimentos agropecuarios que se expenden en mercados mayoristas⁹, la información relacionada al contenido de metales pesados como el plomo y cadmio en *Fragaria ananassa* (Fresas) es escasa o nula. Por tanto, la presente investigación permitirá dar a conocer a las autoridades y productores sobre la concentración de plomo y cadmio en fresas expandidas en tres principales mercados mayoristas de Lima Metropolitana como son el Mercado Mayorista N° 2 de Frutas, Mercado Modelo de Frutas y Gran Mercado Mayorista de Santa Anita, a fin de concientizar sobre la responsabilidad e importancia de ofrecer alimentos agrícolas de calidad a la población, como se sabe los metales pesados representan una amenaza para la salud humana. A su vez, este trabajo de investigación servirá de referencia para futuras investigaciones acerca de la cantidad de metales pesados en alimentos agropecuarios en especial las frutas de consumo masivo.

1.4. Limitaciones de la investigación

Se identificaron las siguientes limitaciones del trabajo de investigación:

La escasa información de estudios previos sobre el área de investigación a nivel nacional representó una dificultad para establecer una relación entre los niveles de plomo y cadmio en fresas expandidas en mercados mayoristas de otras regiones del Perú.

En la recolección de datos que se realizó al momento de muestrear, no se incluyó el lugar de origen o procedencia de la *Fragaria ananassa* (Fresas), por lo que no se pudo realizar un análisis exhaustivo de los resultados.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

Hussein L, Ali S,¹⁴ (2017) en su investigación detectaron las concentraciones de metales pesados como plomo y cadmio en frutas recolectadas de mercados. La muestra estuvo conformada por variedades de frutas, entre ellas la fresa y la técnica utilizada fue espectrofotometría de absorción atómica. Se encontró que los niveles plomo en fresas fueron altos con un valor de 10mg/kg, al igual que los niveles de cadmio en fresas con un valor de 0.07mg/kg. Se concluyó que las fresas están contaminadas con plomo, cadmio en niveles más altos que los demás metales según los límites permisibles de la Organización Mundial de la Salud (Pb: 0.2mg/kg, Cd: 0.05mg/kg).

Dotor GI, et al.,¹⁵ (2017) en su investigación determinaron la presencia y concentración de plomo y otros metales en frutos de fresa (*Fragaria ananassa*) en cultivos de Tenancingo y Villa Guerrero - México, además compararon los valores con la Normatividad Mexicana vigente. Se tomó 10 muestras de fresas (300g) en cada cultivo y la técnica aplicada para medir la concentración de los metales fue el espectrofotómetro de emisión óptica. Se encontró valores de plomo en fresas mayores al límite permisible dado por la Norma Oficial Mexicana (Pb: 0.5mg/kg). Se concluyó que la contaminación de fresas por plomo puede estar relacionada con las descargas municipales e industriales.

Escobar S,¹⁶ (2016) en su investigación evidenciaron la presencia de metales pesados en pulpas de fresas (*Fragaria ananassa*) cultivados por método orgánico y convencional en la parroquia de El Quinche – Ecuador. Se analizó plomo y cadmio en 10 muestras por la técnica de espectrofotometría de absorción atómica. Se encontró que el nivel de plomo en fresas fue 0.06 mg/kg cultivado por el método convencional y 0.07 mg/kg por el método orgánico; en cambio el nivel de cadmio

en fresas fue 0.06 mg/kg por el método convencional y 0.01 mg/kg por el método orgánico. Se concluyó que los valores de plomo encontrados en fresas no superan los límites permisibles del CODEX (0.2 mg/kg) y UE (0.2 mg/kg) en los dos métodos de producción; sin embargo, en el caso del cadmio sobrepasa los límites permisibles del CODEX (0.05 mg/kg) y UE (0.02 mg/kg) en el método convencional, lo que no sucede con el método orgánico.

Avellaneda K, Caro J,¹⁷ (2018) en su investigación determinaron la concentración de plomo en cultivo de fresas ubicado en el municipio de Sibaté - Colombia. El estudio estuvo conformado por un total de 29 muestras de fresas y la técnica utilizada fue espectrofotometría de absorción atómica por llama directa. Se encontró que la concentración más alta (0.97mg/kg) está cinco veces por encima del límite permitido establecido en la Normativa Colombiana (Pb: 0.2mg/kg), mientras que la concentración más baja se ubica en un 83% por debajo de este límite. Se concluyó que el 78.9% sobrepasaron el nivel permitido, por tal motivo se recomienda evaluar la cantidad de fresas que consume al día la población colombiana para determinar si existe alguna consecuencia en la salud.

Calderón E, Concha R,¹⁸ (2016) en su investigación determinaron el contenido de plomo y otros metales pesados en las frutas más comercializadas del Mercado Modelo de Piura. El estudio estuvo conformado por 10 muestras de frutas diferentes encontrándose entre ellas las fresas, la técnica utilizada para determinar el contenido de metales fue espectrofotometría de absorción atómica. Se encontró que la media de plomo en fresas fue 0.2mg/kg y la media de cadmio estuvo por debajo del límite detectable. Se concluyó que a pesar de que las fresas no presentan contenido alto de plomo comparado con el límite permisible de la UE (0.2mg/kg), existe un peligro latente para la salud de los consumidores.

2.2. Bases teóricas

1.2.1. Fresa

1.2.1.1. Características generales

Desde hace años, la fresa ha sido una fruta muy conocida y su notoriedad perdura por el hecho de que la producción ha ido aumentando considerablemente en los últimos tiempos. Su cultivo es popular y posee una gran demanda en el mercado, así como en la industria de procesamiento de frutas para preparar mermeladas y otros productos, por ser dulce y jugosa cuando es extraído de su planta¹⁹.

1.2.1.2. Clasificación Taxonómica

El nombre del género se relaciona con la fragancia, mientras que la variedad de especies hace referencia a las hibridaciones entre ellas²⁰ (Tabla 1).

Tabla 1. Taxonomía de la fresa.

Dominio	Eukarya
Reino	Plantae
Filo	Anthophyta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Rosidae
Orden	Rosales
Familia	Rosaceae
Subfamilia	Rosoideae
Género	Fragaria
Especies	<i>F. vesca</i> L. <i>F. viridis</i> <i>F. nilgerrensis</i> <i>F. daltoniana</i> <i>F. nubicola</i> <i>F. iinumae</i> <i>F. yesoensis</i> <i>F. nipponica</i> <i>F. mandschurica</i> <i>F. moupinensis</i> <i>F. orientalis</i> <i>F. corymbosa</i> <i>F. moschata</i> Duch <i>F. chiloensis</i> <i>F. virginiana</i> <i>F. ovalis</i> <i>F. iturupensis</i> <i>F. ananassa</i>

Fuente: Elaboración propia

1.2.1.3. Características morfológicas

La planta de la fresa es de aspecto herbáceo; perenne, al formar constantemente tallos nuevos que le permite vivir en forma indefinida; diminuta, de hasta 50 cm de altura, con muchas hojas trifoliadas en forma de roseta y tallos largos que surgen de una corona muy corta o rizoma de tallos rastreros, que se encuentra sobre el suelo y forma la base del crecimiento de la planta (Figura 1)²⁰.

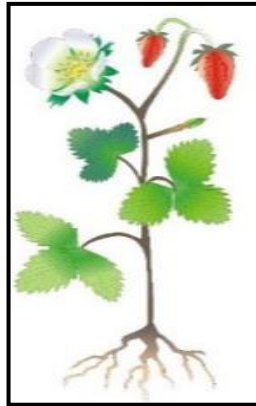


Figura 1. *Planta de Fresa*²⁰.

Hay tres tipos de brotes en el rizoma. En algunos casos, varios tallos surgen de varios tallos (A) y crecen junto con el primero. Otros son los estolones (B), que ceden sus raíces y forman nuevas plantas al contacto con el suelo, y un tercer tipo de yemas (C), que forman racimos de flores hermafroditas y se agrupan en racimos (Figura 2)^{20, 21}.

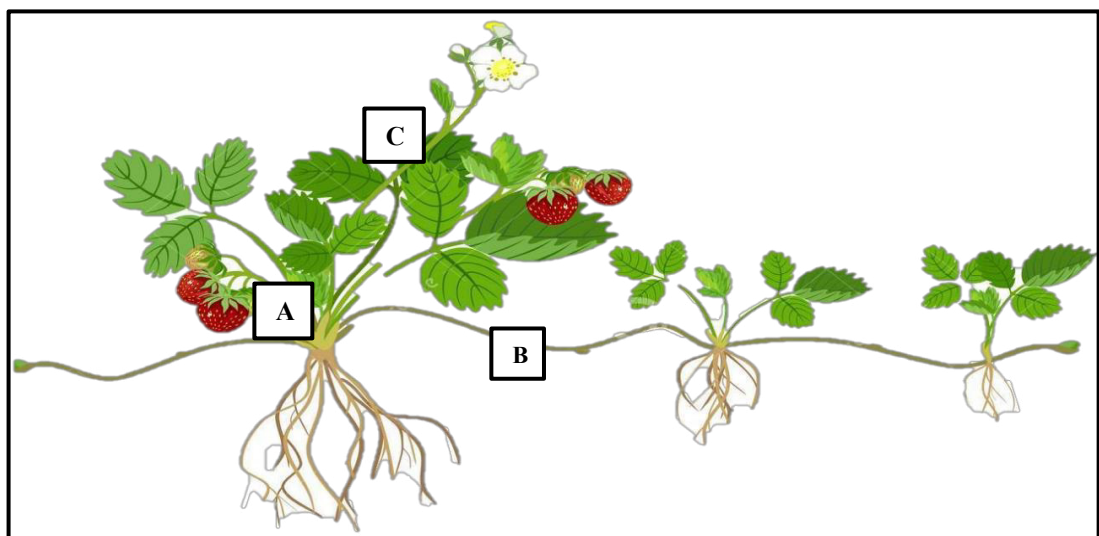


Figura 2. *Yemas del rizoma de la fresa*²¹.

La flor está dispuesta en corimbo, quiere decir; que es la inflorescencia en la que el pedúnculo floral surge en un punto diferente del eje de la inflorescencia y termina casi exacta a la altura²².

El pedúnculo es piloso, con un cáliz de cinco lóbulos, una corola de cinco pétalos de color blanco y varios estambres amarillos (androceo) adheridos en los contornos de una cavidad o receptáculo convexo en el que se insertan varios pistilos en forma de espiral (gineceo). La parte comestible de la fresa se produce por el engrosamiento del receptáculo activado por la fecundación, en la superficie se desarrollan los aquenios (frutos secos, de diminuta dimensión), por lo que la fresa es un falso fruto. Cada fresa aloja alrededor de 150 a 200 aquenios o “pepitas”. Los bulbos son duros y de bajo abismal (Figura 3)^{22, 23}.

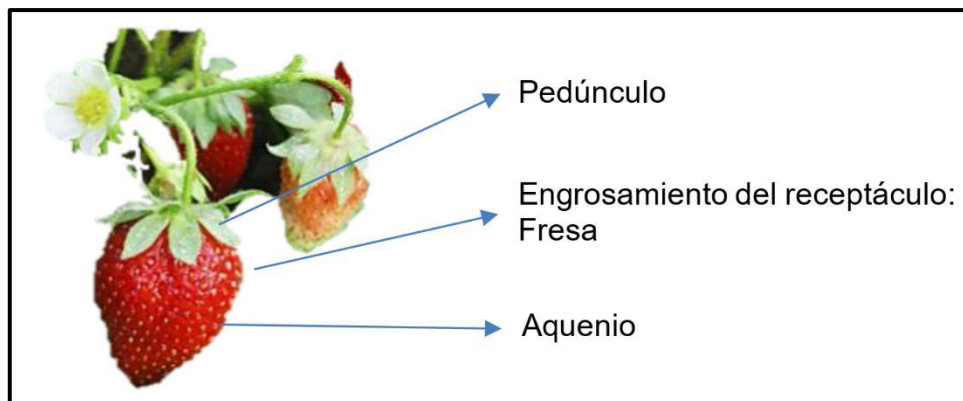


Figura 3. Partes de la *Fragaria*²³.

La forma de la fresa cambia según el cultivar y puede ser achatada, globosa, globosa-cónica, cónica, cónica-alargada, cónica alargada con cuello, en cuña alargada y en cuña corta²⁴ de diversos tamaños dependiendo de la variedad (entre 15 a 22 mm de espesor), con un tono rojo y un sabor variable que va de agrio a muy azucarado; sin embargo, su potente fragancia es lo más característico.

Existen varias denominaciones además de fresa, también se le llama frutilla en español, strawberry en inglés, fraise en francés, morango en portugués y fragola en italiano²⁵.

1.2.1.4. Variedad

Las fresas silvestres provienen de Europa, especialmente de los Alpes y fueron inicialmente cultivadas en Francia en el siglo XV y un poco más tarde en España (siglo XVIII). A su vez, fueron extendidas por Europa, América y algunas partes de Asia por los españoles, portugueses e ingleses, siendo la especie *Fragaria vesca* la más conocida por europeos. Sin embargo, durante la colonización los españoles descubrieron una nueva especie en Chile llamada *Fragaria chilonensis*, de estas dos especies resultó el fresón, caracterizado por ser más sabroso y resistente²².

Los cultivares más utilizados en la actualidad son cruzamientos de las especies “*Fragaria Vesca*”, “*Fragaria Chiloensis*” “*Fragaria Virginiana*” y la “*Fragaria Grandiflora*”. En la sociedad, se reconocen en general más de 1000 especies de fresa, resultado de la gran amplitud de mezcla que existe. Como ejemplo *Fragaria x ananassa* que ha reemplazado casi universalmente a la especie silvestre, *Fragaria vesca*, por el superior tamaño de sus frutos²⁴.

En nuestro país, se hallan diversas especies de fresa, que provienen de Estados Unidos, Europa y otras partes del mundo, pero las que más se cultivan y son de mayor venta en los mercados de Lima hoy en día son: Aromas, Chandler (USA), Tahoe (Holanda), Camarosa y Sern (Sancho)²⁵.

1.2.1.5. Importancia nutricional

Las fresas son apreciadas para la elaboración de ensaladas de frutas, helados jaleas y repostería. Contienen valor nutricional en azúcares de menor proporción en fructosa, glucosa, xilitol, que se usa como edulcorante sustituto de la sacarosa, y en mayor cantidad la levulosa, junto a los ácidos orgánicos y minerales; se atribuyen las propiedades desintoxicantes para personas con celulitis, y circulatoria para la buena irrigación sanguínea²⁴; además posee bajo aporte calórico debido al poco contenido de carbohidratos; y su excelente sabor y ligereza, se debe al 85% de su composición en agua²⁶.

Son una buena fuente de fibra, por ello destaca su efecto protector del organismo para secuestrar sustancias potencialmente nocivas, como ácidos biliares y colesterol, entre otros que son eliminados por las heces, esto beneficia a personas que padecen hipercolesterolemia (litiasis biliar); incrementa el tránsito intestinal, lo

que reduce la duración de contacto de sustancias dañinas con el tejido intestinal, previniendo la constipación y disminuyendo la probabilidad de desarrollar carcinogénesis²⁷. Contienen diversos ácidos orgánicos: Ácido cítrico, con un porcentaje mayor a lo recomendado (IDA: 60 mg) si consumiera 100 g, su consumo puede incrementar los índices de absorción de hierro presente en los vegetales, huevos y carne, previniendo la anemia ferropénica y disminuyendo el ácido málico, ácido oxálico y trazas de ácido salicílico en las infecciones^{24, 28}. A causa de este último componente se debe evitar el consumo por parte de personas intolerantes a la aspirina (ácido acetilsalicílico)²⁴.

Incluso contienen vitamina A (5mg por 200 g), vitamina E (0.3 mg por 100 g) y menores cantidades de otras vitaminas como las B1, B2, B3, y B6²⁶.

Los minerales que poseen en mayor cantidad son el hierro y el yodo, los que le siguen son el fósforo, potasio, calcio y magnesio. También, la presencia reducida de sodio y alta cantidad de potasio les brinda propiedades diuréticas, que las convierte en aptas para personas con hipertensión arterial.

Y por sus pigmentos (flavonoides) conocidos como antocianinas, actúan como potentes antioxidantes²⁹ evitando el envejecimiento y ciertas mutaciones cancerígenas, la cual no sólo se debe a su contenido en antocianinas, sino también a la presencia de cantidades importantes de polifenoles (ácido elágico) y de vitamina C^{22, 30}.

1.2.1.6. Condiciones ambientales de cultivo

El cultivo de fresa es influido por la temperatura, luminosidad y duración del día, asimismo la altitud y la calidad del suelo también son unos determinantes para la producción de éste.

Temperatura: El rango óptimo es de 14°C de noche y 20 °C de día y requiere 12 horas de luz para producir frutos, las altas temperaturas propician un crecimiento vegetativo exuberante en detrimento de la floración, desvitalización del polen y malformación de los frutos, y si los días son menores de 12 horas las flores se estimulan en crecer, pero decrece los estolones^{31, 32, 33}.

Luminosidad: Es importante para el contenido de azúcares, se desmejora el sabor cuando hay excesiva precipitación con nubosidad y humedad junto con altas temperaturas. Las variedades de fresa se pueden dividir de acuerdo con su fotoperiodo: día corto, una sola floración; día largo, presentan sus ramas de flores, repetitiva floración y prolongación de la producción, sin embargo, tienen problemas para su producción como malformación en los frutos; y día neutro, insensibles al fotoperiodo^{31, 32, 33}.

Altitud: Factor determinante para el inicio de la producción, cuando aumente la altura, el inicio se retrasa^{31, 32, 33}.

Suelo: Debe ser de amplia variedad, blanda, para un acceso fácil de su sistema radicular, rico en materia orgánica con un rango de pH ácido entre 5.5 a 6.5 ^{31, 32, 33}.

1.2.1.7. Mercado peruano

La distribución de las frutas dentro del territorio peruano se da por diferentes canales de distribución (Figura 4), por la cual los consumidores tienen acceso a las frutas. El Instituto Nacional de Estadística e Informática³⁴ informó que los mercados mayoristas y minoristas de alimentos en Perú crecieron en un 138.1% entre los años 1996 al 2016, como un manifiesto de la economía y población.

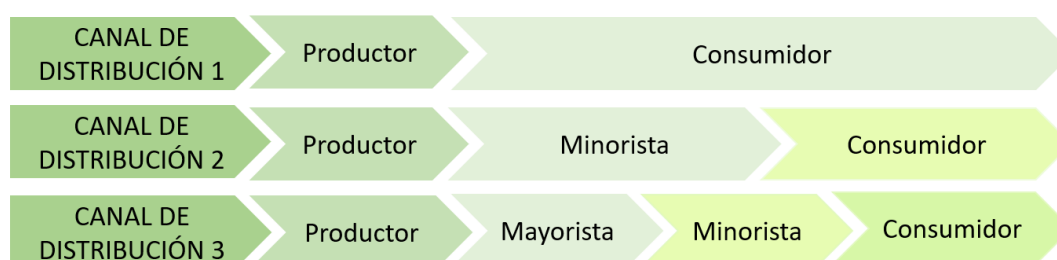


Figura 4. Canales de distribución de las frutas en el mercado.

Fuente: Elaboración propia

Además, el Censo Nacional de Mercados de Abastos del año 2016 muestra que en Lima Metropolitana hay 1122 mercados de abastos, distribuidos en los 42 distritos a manera se aprecia en la Figura 5.

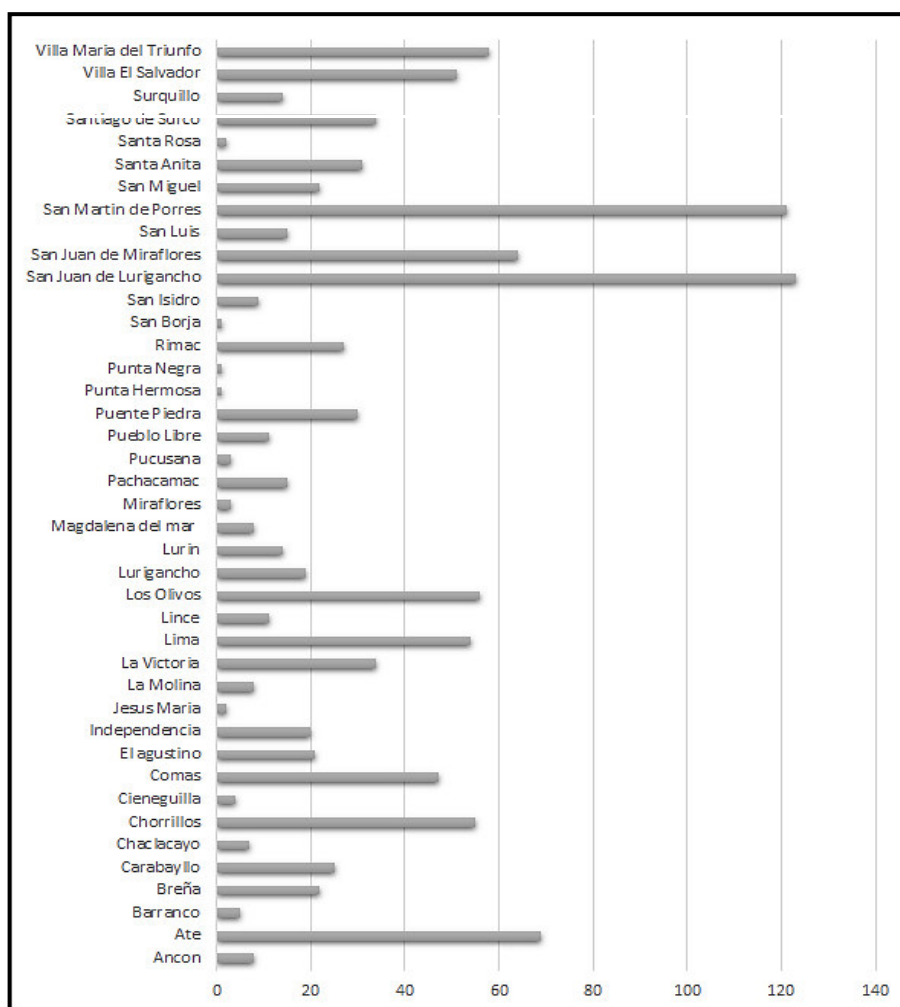


Figura 5. Disposición de mercados de abastos, según los distritos de Lima Metropolitana⁵.

La distribución de las fresas en Lima Metropolitana se mide por volumen en toneladas según el Sistema de Abastecimiento y Precios – SISAP²⁵, de acuerdo a la figura 4, las variedades como Aroma ha predominado en los años 2016, 2017, 2018 y en el 2019 ha tenido un descenso en su distribución; sin embargo, en ese mismo ha destacado la de San Andreas hasta ahora. Por otro lado, en el 2020 la de Sabrina fue ingresando de a pocos al mercado de Lima Metropolitana. La de Cama Rosa, solo prevaleció en el 2016 y 2020. De las cuales son provenientes de Huaura, Huaral, Canta, Cañete y Barranca.

En la Figura 6, se observa el calendario de cosecha de la fresa que da inicio desde el mes de julio hasta febrero.

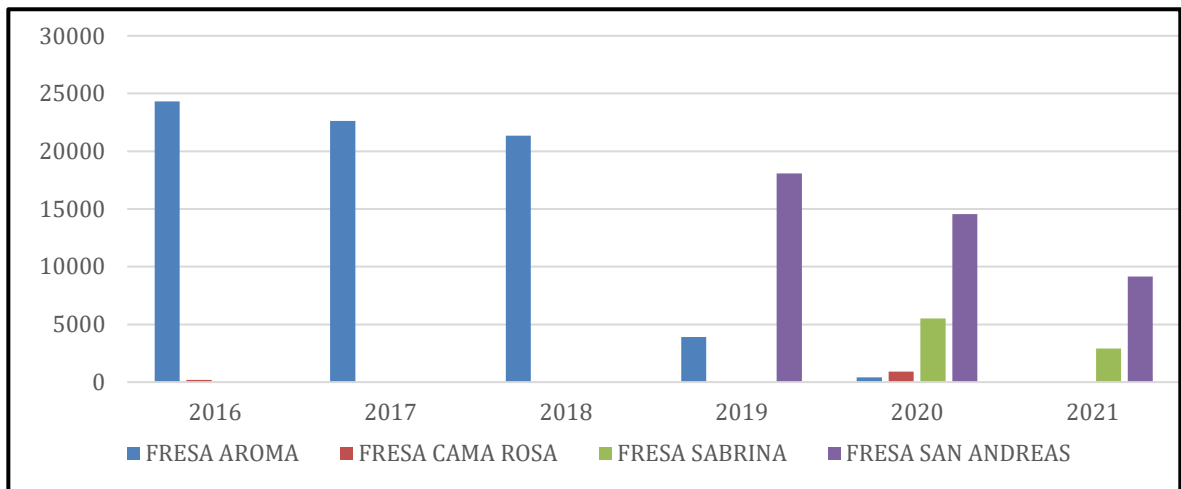


Figura 6. Calendario de cosecha de la fresa.

Fuente: Elaboración propia

Las fresas se cultivan en las regiones de Lima y La Libertad, destacando Huaura, Canta, Cañete, Huaylas, Caraveli, Arequipa, Andahuaylas, Huarochirí, Barranca, y Huaraz, siendo Lima donde se siembra y cosecha más del 90% del fruto (Figura 7); sin embargo, hay pequeñas zonas de cultivo distribuidos en otros departamentos como Arequipa, Ancash, Moquegua, La Libertad, Cuzco, etc.

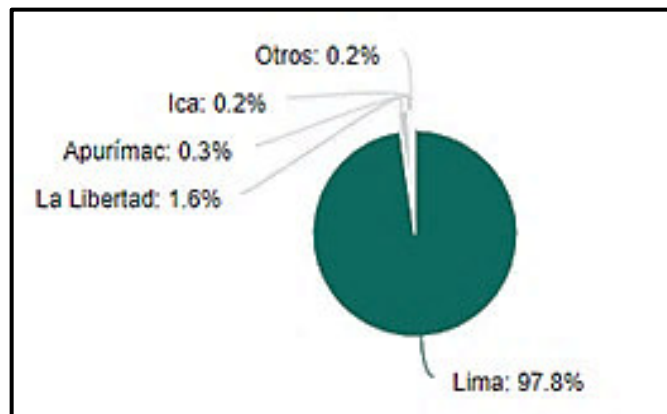


Figura 7. Departamentos con mayor cosecha de fresas²⁵.

La mercantilización de la fresa se desarrolla en el mercado nacional y también crece principalmente en los establecimientos agroindustriales ubicados en Huacho, en donde se procesan las fresas para extraer la pulpa, la cual se utiliza para elaborar yogures, conservantes, compotas, tortas, salsas, entre otros³⁶.

2.2.2. Plomo

2.2.2.1. Aspectos generales

El plomo es un elemento natural de muy baja abundancia en la corteza terrestre. Se encuentra ampliamente distribuido, en mayor cantidad en los estratos profundos y en menor proporción en la superficie; los mantos acuíferos no contaminados poseen pequeñas cantidades. El plomo no se degrada en el medio ambiente, es decir que no existe plomo libre como tal en la naturaleza, aunque puede existir en varias formas químicas³⁷.

La extracción de plomo de la corteza terrestre y su uso posterior por parte del hombre se ha dado desde hace más de 5.000 años. Los yacimientos naturales más populares se encuentran países de América (Estados Unidos, Canadá, México y Perú), Europa y Asia. Asimismo, las emanaciones de origen natural alcanzan valores de 19.000 toneladas por año debido a las erosiones de suelos o rocas, y emisiones volcánicas. Por otro parte, de las actividades humanas se originan valores que varían entre 120.000 a 130.000 toneladas por año³⁸.

Una mayor fuente de plomo en el ambiente se ha visto históricamente en las emanaciones generadas por la actividad humana a la atmósfera que provienen de la combustión de gasolina con plomo orgánico (alquilos), el cual se dejó de usar después de 1973 y luego se prohibió en 1995. También se incluye a la minería y fabricación de productos que contienen una gran variedad de aleaciones y sus compuestos, utilizados en altas cantidades en muchas industrias³⁹.

2.2.2.2. Propiedades físicas y químicas

El plomo se define como un metal pesado, de tonalidad gris azulado, aspecto fulgente, blando, altamente maleable, un mal conductor de la electricidad y posee resistencia a sustancias corrosivas. En la tabla periódica se encuentra en la familia IVA y se identifica con el símbolo Pb. Posee un número atómico de 82, peso atómico de 207.19, densidad de 11.34 g/cm³, punto de fusión muy bajo, en

comparación con la mayoría de los otros metales, de 327 °C y punto de ebullición de 1750 °C⁴⁰.

En la naturaleza, el plomo raramente se encuentra en forma metálica que se caracteriza por tener un estado de oxidación de 0, comúnmente está como compuestos inorgánicos en estado de oxidación +2, unido a azufre u oxígeno. El plomo en estado de oxidación +4, se forma bajo condiciones fuertemente oxidantes y es relativamente inestable, por lo que no se esperaría encontrarlo en condiciones ambientales normales. Es así como, el compuesto inorgánico de plomo más importante es la galena (PbS). Otros compuestos inorgánicos comunes, incluyen los sulfatos como anglesita (PbSO₄) y los carbonatos como cerusita (PbCO₃)³⁹.

Las propiedades químicas de los compuestos inorgánicos del plomo son similares a los elementos de la familia IIA (metales alcalinotérreos) de la tabla periódica. El plomo es anfótero, lo cual significa que puede reaccionar con ácidos y bases. En soluciones ácidas, el plomo forma sales plumbosas (Pb +2) y plúmbicas (Pb +4); sin embargo, en soluciones básicas forma plumbitos (PbO₂) y plumbatos (Pb (OH)₆)³⁹.

2.2.2.3. Distribución y usos

El plomo es conocido desde hace miles de años, fue uno de los primeros metales que utilizó el hombre para trabajar. Hay evidencias de su uso en el este del Asia Menor desde hace 4 mil AC. Lo emplearon los antiguos egipcios por primera vez en cosméticos, una aplicación que se extendió a la antigua Grecia y más allá. Los romanos también usaron plomo a gran escala para plomería, artículos domésticos como ollas, vajillas, vasos y utensilios diversos. En la edad media, el plomo ha sido utilizado para la fabricación de balas, debido a que es barato y su bajo punto de fusión le permite ser útil como municiones para armas pequeñas¹⁷. En los últimos tiempos, el uso del plomo ha aumentado de 4 millones de toneladas anuales en la década de 1960 a 6 millones de toneladas en la década de 1990, debido principalmente a un aumento en la demanda de baterías de arranque en vehículos de motor en todo el mundo⁴⁰.

La forma metálica del plomo es la más utilizada (aproximadamente 40%), seguido por los compuestos químicos (35%) y aleaciones (25%). Los compuestos de plomo en forma de óxidos son utilizados en las baterías de arranque, en la fabricación de pinturas y como componentes de esmaltes, barnices y vidrio. El arseniato de plomo posee actividad insecticida; el sulfato de plomo se emplea como colorante blanco y a partir de este derivan el rojo cromado, naranja, verde y amarillo. Las aleaciones de plomo con el antimonio, bismuto y estaño mejoran sus propiedades mecánicas o químicas. Otras aplicaciones que se le han atribuido al plomo en la industria, es el uso como lastre en quillas de veleros, el cual reduce la resistencia al agua, así como también se utiliza en cinturones de pesas para buceo con el fin de contrarrestar la flotabilidad del buzo. Además, la alta densidad del plomo constituye la base para su uso como barrera capaz de absorber el sonido, la vibración y la radiación; un ejemplo de eso son las láminas de plomo como capa de amortiguación del sonido en las paredes, pisos, techos de los estudios de sonido y como material de protección en las salas de rayos X. También se utiliza en el revestimiento de cables, como empaste en la industria automovilística y componente de soldadura. Estos últimos usos se están eliminando gradualmente en algunos países para reducir los desechos peligrosos en el medio ambiente^{41, 42}.

2.2.2.4. Fuentes y vías de exposición

El plomo es un elemento que se localiza de forma natural en el ambiente³⁹. El escurrimiento del agua de lluvias, la precipitación, la corriente de ríos y mares son las fuentes naturales principales que permiten la movilización de plomo a través del agua, el suelo y el aire mediante una serie de procesos físicos y químicos. El proceso de meteorización de las rocas juega un papel importante en el ciclo global del plomo, ya que genera liberación de plomo a los suelos y sistemas acuáticos. Mientras que, los volcanes, las partículas del suelo en el aire, los incendios forestales, el material biogénico y el aerosol marino generado por superficies de mares y océanos son considerados importantes fuentes de emisión al aire. Dichas emisiones se estiman aproximadamente un 10% de las emisiones antropogénicas totales a mediados de la década de 1990⁴³.

Otras fuentes de contaminación incluyen la actividad antropogénica, tales como la minería, la fabricación y la utilización de productos que poseen trazas de plomo, por ejemplo, más notablemente la gasolina, baterías, soldadura, tuberías de agua, cerámicas y pinturas en las industrias informales y artesanales. Debido a que el plomo es un elemento persistente que no puede destruirse, ni degradarse con el tiempo, es que los depósitos de este metal por usos actuales y anteriores dejan su legado con altas concentraciones en el ambiente, lo cual puede continuar siendo una vía de exposición potencial^{43, 44}.

La población en general se puede exponer al plomo a través de diferentes vías y de acuerdo a las características del medio, las cuales serán descritas a continuación:

Aire

La cantidad de plomo en el aire depende de varios factores, incluida la proximidad a las carreteras y fuentes puntuales. En grandes ciudades como Estados Unidos, los promedios trimestrales típicos para áreas urbanas sin fuentes puntuales significativas estaban en el rango de 0.1 y 0.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en las proximidades de las principales fuentes puntuales, como las fundiciones de plomo y las plantas de baterías, los niveles de aire generalmente oscilaban entre 0.3 y 4.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Los principales compuestos tras la emisión de plomo en el aire son cloruros, óxidos y sulfatos. En particular, la combustión de petróleo libera plomo como óxido de plomo (PbO), mientras que la producción de metales no ferrosos libera sulfato de plomo (PbSO₄) y PbO. El dicloruro de plomo (PbCl₂) se emite durante la combustión del carbón y la incineración de desechos. El plomo tiene el potencial para el transporte de largo alcance (más de cientos, o incluso miles de kilómetros), lo cual se demuestra de manera más convincente por la presencia de plomo en las regiones polares⁴⁴.

Suelo

Los suelos son un sumidero importante, debido a que el plomo se adsorbe fuertemente por los componentes orgánicos presentes en el suelo, mientras que la solubilidad, movilidad y fitodisponibilidad dependen de la acidez del suelo³⁹. El

plomo depositado en el aire generalmente se retiene en los 2 a 5 cm superiores del suelo no perturbado. Las concentraciones en la capa superior de los suelos varían considerablemente debido a la deposición y acumulación de partículas atmosféricas; por ejemplo, en el suelo urbano es probable que las concentraciones sean mucho mayores que las que se encuentran en el suelo de las áreas rurales, ya que están influenciadas por la actividad antropogénica.

El contenido de plomo natural en el suelo generalmente varía desde menos de 10 mg/kg de suelo hasta 30 mg/kg de suelo; no obstante, la cantidad de plomo que se encuentra en suelos situados a 25 metros de las carreteras fueron de 30 a 2000mg/kg más altos que los niveles naturales, lo que nos indica que la concentración de plomo en el suelo generalmente disminuye a medida que aumenta la distancia desde la fuente contaminante^{44, 45}.

Agua

El destino del plomo en el agua se da con bastante rapidez por sedimentación directa y lluvia, el cual está determinado por las propiedades químicas y físicas del agua, tales como la acidez o alcalinidad, la salinidad, el estado de oxidación, la velocidad de flujo, el sedimento suspendido y la materia inorgánica y orgánica. En el agua, el plomo puede presentarse de diferentes formas y especiaciones que difiere tanto en agua dulce como en agua salada: En agua dulce, el plomo existe principalmente como el catión divalente (Pb^{+2}) en condiciones ácidas, y forma carbonato de plomo ($PbCO_3$) e hidróxido ($Pb(OH)_2$) en condiciones alcalinas. Sin embargo, en el agua de mar, la influencia de la concentración de cloruro en la especiación del plomo es mucho mayor debido a la salinidad y las especies primarias son los cloruros de plomo ($PbCl_3$, $PbCl_2$, $PbCl^+$) y el carbonato ($PbCO_3$)⁴⁶.

El plomo está presente en el agua potable en cierta medida como resultado de su disolución de fuentes naturales, pero principalmente de los sistemas de plomería domésticos en los que las tuberías, soldaduras, accesorios o conexiones de servicio a los hogares contienen plomo. Las tuberías de cloruro de polivinilo (PVC) también contienen compuestos de plomo que se pueden lixiviar de ellas y dan como resultado altas concentraciones de plomo en el agua potable. La cantidad de plomo disuelto del sistema de plomería depende de varios factores, como la presencia de

cloruro a una mayor concentración de 40000mg/L de cloruro se evidencia precipitación y adsorción del Pb⁺²; a un pH entre 5 a 7, ocasiona lo mismo, el PbOH⁺ es la de mayor predominancia a un pH 6 a 10; de la misma forma la presencia de especies disueltas como el oxígeno da facilidad a posibles uniones orgánicas con el Pb; a una mayor temperatura, el plomo depura más rápido y la presencia de agua blanda convierte al plomo más toxico⁴⁷.

Alimentos

La mayor contribución a la ingesta diaria de plomo se deriva de la ingesta de alimentos, ya que se incorpora a varios cultivos a través de la absorción por las raíces del suelo y por deposición directa en las superficies de las plantas. Se ha reportado que las tierras de cultivo que presentan mayor concentración de plomo son las que se encuentran cerca de alguna vía donde se genere congestionamientos de vehículos, en donde los niveles de plomo en varios cultivos alimentarios ascendieron de 2 a 136 mg/kg para granos y cereales, de 5 a 649 mg/kg para vegetales y de 6 a 73 mg/kg para grasas y aceites. Otra de las principales causantes de la contaminación de alimentos como las hortalizas de consumo en fresco es el agua de riego, debido a que es contaminado por desechos industriales, mineros o residuos de fertilizantes. Además, existe una deposición directa en vegetales de hoja como la lechuga y las espinacas, y particularmente para aquellos con una temporada de crecimiento larga como la col rizada, que pueden contener altos niveles de plomo^{48, 49}.

2.2.2.5. Toxicocinética

Durante el último medio siglo, desde la época de exposición máxima al plomo en la década de 1960, la toxicocinética y los modelos de dinámica del plomo han evolucionado sustancialmente, lo que nos permite comprender los mecanismos que producen sus efectos adversos a nivel de los sistemas neurológico, cardiovascular, óseo y renal⁵⁰.

Teniendo en cuenta lo anterior, se explican las fases de la toxicocinética del plomo de la siguiente forma:

Absorción

El plomo puede ingresar al organismo y ser absorbido por tres vías: respiratoria, digestiva y cutánea. Debido a que la absorción cutánea es mínima, la absorción respiratoria y digestiva se consideran de mayor importancia clínica.

La absorción a nivel de las vías respiratorias es cercana al 40% de la cantidad que se deposita en los pulmones y el tiempo que circula en la sangre es aproximadamente 50 horas. A pesar de que una cantidad se absorbe en las vías aéreas superiores con partículas grandes ($>2.5 \mu\text{m}$), la fracción más relevante se da en las vías respiratorias inferiores, específicamente en el alvéolo, ya que partículas pequeñas (2.5 a $<1 \mu\text{m}$) pueden ser absorbidas casi por completo. De manera que, el nivel de absorción en las vías respiratorias está sujeta al tamaño de la partícula y la concentración del metal en el medio ambiente, el tiempo de exposición y de factores personales que puede ser la edad, el volumen y frecuencia respiratoria^{39, 51}.

Con respecto al tracto digestivo, se genera por el consumo de alimentos o bebidas contaminados con trazas del metal, la fracción de plomo inorgánico absorbida principalmente en el duodeno está sujeta a muchos factores tales como, el tamaño de partícula, estado nutricional y el tiempo de vida. Las tasas de absorción gastrointestinal más altas ocurren en niños, quienes pueden absorber de 30 a 50% de la dosis oral de plomo, en contraste con el 3 a 10% para adultos. Además, el plomo tiene una mejor absorción cuando el tamaño de partícula es diminuto ($<38 \mu\text{m}$), en casos de deficiencias nutricionales (particularmente baja en calcio, hierro, magnesio y zinc), alta ingesta de grasa o calorías y presencia de estómago vacío o ayuno prolongado. En contraste la eficiencia de absorción de plomo disminuye con los alimentos o cualquier condición que prolongue la digestión³⁹.

Si bien la absorción vía dérmica es poco efectiva en contraposición con las otras dos vías mencionadas, los ensayos realizados en animales ponen en evidencia que el plomo orgánico, como el acetato de plomo y el tetraetilo de plomo posee mejor absorción comparado con el plomo inorgánico, el cual atraviesa glándulas sebáceas, glándulas sudoríparas y folículos pilosos directo al torrente sanguíneo⁵¹.

⁵².

Distribución

Una vez que el plomo es absorbido, este se distribuye de manera dispersa entre los diferentes compartimentos. De acuerdo con Rădulescu et al.⁵⁰, un modelo tricompartmental explica cómo se distribuye el plomo en el cuerpo humano; en primer lugar, circula en sangre a través de hematíes y unido a las proteínas plasmáticas alrededor del 95%, siendo la semivida de 30 a 35 días, luego se dispersa durante los siguientes 40 días a los tejidos blandos como hígado, riñón, médula ósea y sistema nervioso central, los cuales son los órganos blancos donde se ejerce mayor toxicidad. Aproximadamente de 1 a 2 meses después, se dispersa hacia los huesos donde se vuelve inmóvil e inocuo, con una persistencia entre 27 y 30 años. La ruta descrita es la misma para niños y adultos; sin embargo, la diferencia radica en que la concentración de plomo en huesos es alrededor del 94% en adultos y 73% en niños. Este depósito de plomo en adultos mantiene elevado los niveles sanguíneos del metal en situaciones de embarazo, menopausia, lactancia y osteoporosis debido al aumento de la resorción ósea^{53,54}.

Metabolismo

En general el plomo presenta una baja biotransformación, en el caso del plomo inorgánico no es metabolizado, por lo que forma complejos con una variedad de ligandos y es excretada de forma directa. Los ligandos extracelulares principales incluyen a la albúmina y grupos sulfhidrilos no proteicos y el ligando intracelular principal en los glóbulos rojos es δ -aminolevulínico deshidratasa (ALAD). Por otro lado, el plomo orgánico posee una metabolización baja en el hígado por enzimas citocromo P450, en donde se convierte primero en fosfato plumboso y posteriormente pasa a fosfato plúmbico, este último es poco soluble por lo que dificulta su eliminación con la consecuente acumulación en el organismo^{39,51}.

Eliminación

Independientemente de la ruta de exposición, el plomo se excreta principalmente en orina y heces. Mientras que la excreción fecal representa cerca del 85% del plomo no absorbido, la excreción urinaria representa alrededor del 80% del plomo absorbido. La mayor parte de la excreción fecal del plomo proviene de la fracción no absorbida y también de la secreción biliar, el fluido gástrico y la saliva. Las vías

de menor excreción incluyen sudor, cabello, uñas, dientes, células epiteliales descamadas y la leche materna, siendo esta última de relación directa con la cantidad de plomo sanguíneo en madres expuestas ocupacional o ambientalmente⁵⁵.

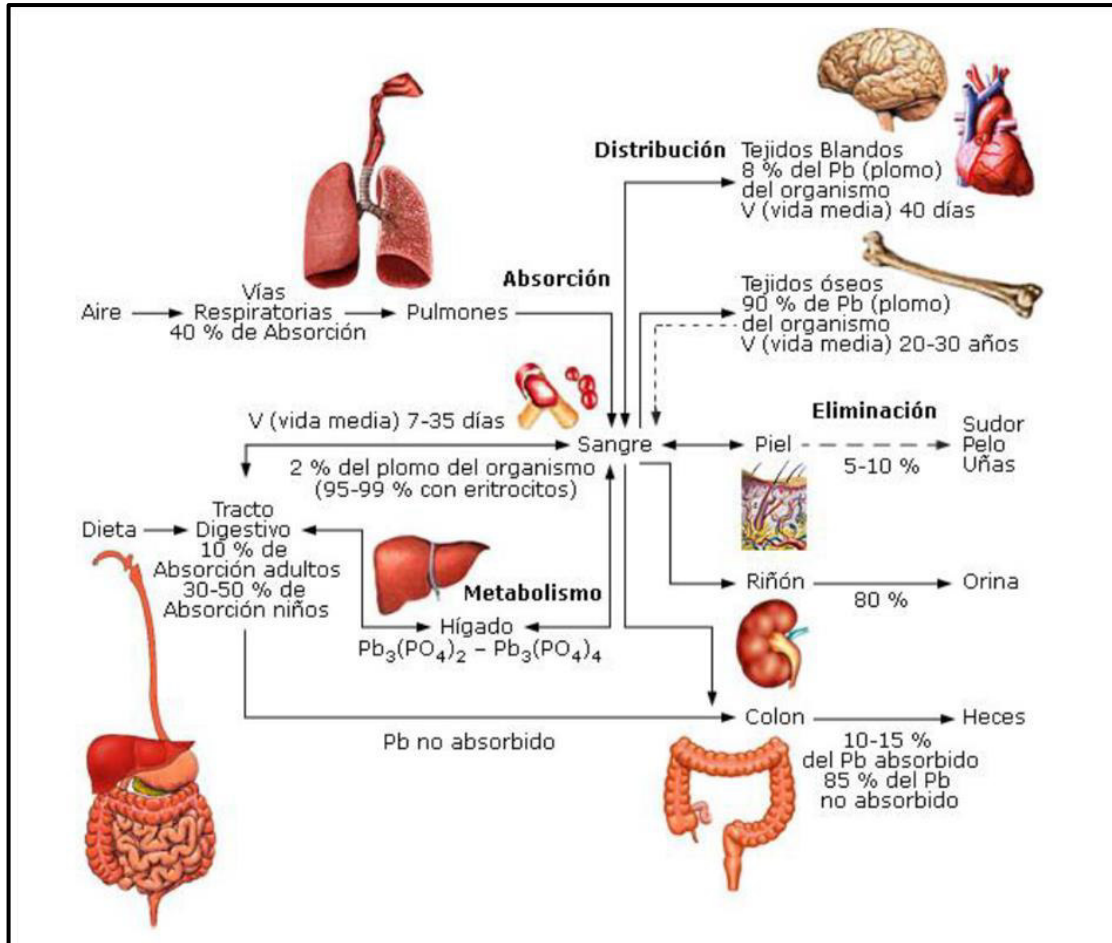


Figura 8. Toxicocinética del plomo en el cuerpo humano⁴⁹.

2.2.2.6. Toxicodinamia

El comportamiento toxicológico del plomo se debe a su interacción con minerales esenciales (hierro, calcio, magnesio, sodio y potasio), ya sea por competencia con estos o cambiando sus cantidades a nivel celular. Aunque los efectos tóxicos del plomo se evidencian en la mayoría de los órganos del cuerpo humano, las principales dianas anatómicas son la sangre, el cerebro, hígado y riñones. Entre los diversos mecanismos de acción se encuentra la gran afinidad por los grupos sulfhidrilo de las proteínas, especialmente por las enzimas dependientes del zinc como el δ -aminolevulínico deshidratasa (ALAD), coproporfirinógeno oxidasa y

ferroquelatasa, a las que se une de forma irreversible generando el incremento de protoporfirinas y anemia, así como también la inhibición de la deshidrogenasa del ácido δ -aminolevulínico lo cual provoca la elevación de las cantidades de ácido δ -aminolevulínico y posterior incremento de la producción de especies de oxígeno reactivo. Además, el plomo imita las acciones del calcio afectando todos los eventos regulados por este elemento, tales como la estimulación de calmodulina y AMPc fosfodiesterasa, inhibición de la función de la bomba N-K-ATPasa, lo cual induce el incremento del calcio dentro de la célula y su acción como segundo mensajero. Otro mecanismo de efecto perjudicial es la inducción del estrés oxidativo, esto conlleva a la formación de especies de nitrógeno y oxígeno reactivo, con la consecuente reducción de los antioxidantes de reserva y la reducción de la cantidad de glutatión^{56, 57}.

2.2.2.7. Efecto sobre la salud humana

Los efectos biológicos son los mismos por las diferentes vías de exposición al plomo (inhalación, ingestión y dérmica), afectando la mayoría de los órganos y sistemas, principalmente a nivel nervioso⁵⁸. Los efectos tóxicos del plomo están directamente proporcionales con el nivel de plomo en el flujo sanguíneo y tejidos blandos, constituyendo sólo el 5% de la carga total del plomo presente en el cuerpo, debido a que la mayor parte entre 90 a 95% se almacena en los huesos⁵⁹.

Efectos según los niveles:

A nivel neurológico: A un nivel incluso menor a 10 ug/dL de plomo en sangre, en niños, puede causar estos tipos de problemas, y a una exposición alta de plomo podría ocasionar mayormente ataxia severa, vómito, letargo, estupor, convulsión, y coma que probablemente desencadenen efectos neuropsiquiátricos. A concentraciones muy bajas en adultos presentan algunos síntomas tempranos tales como la capacidad de atención reducida, dolor de cabeza, pérdida de memoria e irritabilidad⁶⁰. Altas exposiciones de plomo están asociado a la variación en la organización y función cerebral, en edad temprana, por el estrés oxidativo⁶¹, por un cambio en el metiloma del hipocampo⁶², por un aumento de la apoptosis de células neuronales, y glías experimentado por Dou y Zang⁶³ en modelos animales. Por lo que, el plomo es un factor de riesgo para acelerar la disminución cognitiva⁶⁴ e induce a una expresión prematura semejante a la patología del alzheimer debido a

la alteración del metabolismo del colesterol en el cerebro⁶⁵, a causa de una baja disponibilidad del metabolismo energético de la glucosa en neuronas y astrocitos⁶⁶. A una exposición crónica, se desarrolla una neuropatía periférica relacionado a las partes motoras del cuerpo y las posibilidades de presentar encefalopatía en intoxicaciones agudas⁶⁷.

A nivel cardiovascular: Lo más característico es la anemia, el plomo desencadena la anemia hemolítica: intoxicación aguda y la anemia hipocrómica o normocrómica: intoxicación crónica o saturnismo, debido a la inhibición de enzimas (aminolevulínico, deshidratasa, ferroquelatasa) que evita la unión del hierro en la protoporfirina para formar el grupo Hem de la hemoglobina⁵⁹, los biomarcadores del estrés oxidativo del sistema hematológico expuesto al plomo son el delta aminolevulinico deshidratasa (ALAD) y el malondialdehído (MDA)⁶⁸; el estrés oxidativo puede causar hipertensión también causa enfermedad coronaria como la cardiopatía coronaria⁶⁹ por un nivel elevado de triglicéridos, la presencia de LDL pequeñas y densas, y un aumento de la concentración de la lipoproteína⁷⁰.

A nivel óseo: El plomo es capaz de competir con el metabolismo del calcio⁵⁵ generando la acumulación del metal tóxico en los huesos, es decir; deterioro del sistema óseo^{71, 72}, el avance del daño a este nivel es comparada a una maduración de los huesos asociado normalmente con la edad a causa del incesante recambio óseo, por lo que hay riesgo de fractura al ser expuesto al tóxico⁷³.

A nivel renal: El plomo causa hipertensión de origen renal, a baja concentración está asociado a la disminución de la función renal y a desencadenar la enfermedad renal crónica⁷⁴. Además a una co-exposición con cromo está potencialmente asociado a una disminución de la tasa de filtración glomerular⁷⁵.

Si la exposición es crónica, causara nefritis intersticial, llegando a la muerte del individuo. Como marcadores urinarios de una disfunción glomerular es la albúmina y del daño tubular están α 1-microglobulina (α 1M), β 2-microglobulina (β 2M), proteína de unión a retinol (RBP), actividad N-acetil- β -glucosaminidasa (NAG)⁷⁶.

Otros niveles: A nivel del sistema reproductor, el plomo podría causar toxicidad en las mitocondrias de la célula sertoli^{77, 78} por lo que afecta directamente a las células de Leydig alterando los niveles de la testosterona y calidad del semen⁷⁹, también disminuye la fertilidad, la incapacidad para mantener el embarazo y la reducción del embarazo⁸⁰; por lo que es considerado como disruptor endocrino. A nivel celular, el plomo ocasiona la formación de especie de oxígeno reactivo (ROS), al interactuar tanto con los componentes del citosol y de la membrana del eritrocito, el cual causa la iniciación de la peroxidación lipídica, alterando al sistema antioxidante en animales y trabajadores expuestos ocasionalmente⁸¹. Con lo mencionado anteriormente, se evidencia experimentalmente que el plomo es cancerígeno; sin embargo, en los humanos la información es restringida, considerando estos puntos la IARC, lo ha clasificado como posiblemente carcinogénico⁷⁹.

2.2.3. Cadmio

2.2.3.1. Aspectos generales

El cadmio es un elemento ubicuo, que fue descubierto por el químico alemán Strohmeyer en 1817 como un componente del carbonato de sodio ($ZnCO_3$) a partir del mineral de zinc⁸³. Está disperso en la cubierta terrestre con una concentración de 0.1 a 0.5 mg/kg, principalmente en asociación con minerales de cobre, plomo y zinc. También es un componente natural del agua de océanos, cuyo contenido varía entre <5 y 110ng/L, con niveles más altos reportados en las áreas costeras, específicamente en las rocas sedimentarias⁸⁴.

Las liberaciones de cadmio en el ambiente pueden ser de origen natural, como también producto de las actividades antropogénicas. Sin embargo, este metal no es degradable, por lo que permanecerá en circulación, incorporándose a los depósitos de cadmio ya existentes. En comparación con otros metales pesados, el cadmio es relativamente soluble en agua, lo cual le atribuye una mayor movilidad en la corteza terrestre generando una alta biodisponibilidad y tendencia a bioacumularse⁸⁵.

La presencia de cadmio en el agua, suelo o alimentos provoca serios problemas de salud al ser humano cuando se expone incluso a bajas concentraciones. Si bien las emisiones principalmente antropogénicas han ido disminuyendo, hay una preocupación constante asociada con la exposición, ya que es considerado por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) como un potencial carcinógeno humano grupo 2B y grupo 1 respectivamente,^{83, 86} esto se puede evidenciar en el estudio de Pan et al.⁸⁷ que relacionó la contaminación ambiental en Europa y la exposición a través de la dieta con la incidencia de cáncer de próstata y de mama.

2.2.3.2. Propiedades físicas y químicas

El cadmio se caracteriza por ser un metal suave sin olor, de coloración blanco plateado, fulgente, moldeable y anticorrosivo. Forma parte de la familia IIB de la tabla periódica y su representación simbólica es Cd, posee un número atómico de 48, masa atómica de 112.41, densidad de 8.642 g/cm³ y emite vapores 3.88 veces más pesados que el aire. Se volatiliza fácilmente a altas temperaturas durante la soldadura o fundición, teniendo como punto de ebullición 767 °C y un punto de fusión de 321 °C. También, debido a su alta presión de vapor, se oxida fácilmente en el aire húmedo, formando un recubrimiento de óxido de calcio (CdO) que es más resistente a la corrosión³⁷.

En la mayoría de sus propiedades químicas, el cadmio se asemeja al zinc de modo que, el estado de oxidación de casi todos los componentes del cadmio es +2 como el zinc, aunque pocos componentes han sido reportados con +1^{84, 88}. Los compuestos inorgánicos de cadmio como el acetato, cloruro y sulfato son altamente solubles en soluciones acuosas, mientras que el óxido, fosfato y sulfuro son insolubles. Algunos compuestos orgánicos en donde el cadmio está unido directamente a un átomo de carbono pueden ser sintetizados⁸⁹.

2.2.3.3. Distribución y usos

El cadmio se obtiene como subproducto principalmente en el refinado de zinc y, en menor medida, durante el refinado de cobre y plomo, a partir de minerales de sulfuro. Luego de su extracción, se usa muy poco como metal puro; sin embargo, como constituyente de varias aleaciones y en diversas formas de sal posee aplicaciones importantes a nivel industrial. Según el Servicio Geológico de los Estados Unidos, los usos más importantes del cadmio son las baterías a base de níquel y cadmio (Ni-Cd) con 83%, colorantes 8%, galvanizado y recubrimientos 7%, estabilizadores para plásticos 1.2% y otros usos tales como aleaciones libres de hierro, semiconductores y equipos fotovoltaicos 0.8%^{90, 91}.

El hidróxido de cadmio constituye uno de los electrodos de las baterías de Ni-Cd, las cuales poseen un buen rendimiento a bajas y altas temperaturas y una vida útil alta, por lo que inicialmente se producían baterías grandes que eran requeridas por las industrias ferroviarias y aeronáutica para arranque y energía de emergencia. Posteriormente, se fabricaron las baterías pequeñas para su uso en diversos productos de consumo, como por ejemplo teléfonos celulares, videocámaras, computadoras portátiles y juguetes. El sulfuro de cadmio y sulfoseleniuro de cadmio se utilizan como pigmentos que van desde el amarillo hasta el rojo oscuro en esmaltes, vidrios, fuegos artificiales, cerámicas y plásticos, de los cuales aproximadamente del 60 al 80% de todos los pigmentos de cadmio producidos, son usados en la coloración de los plásticos ofreciendo como ventajas una tolerancia a temperaturas altas y estabilidad a la luz. El óxido de cadmio es utilizado en la galvanoplastia, fabricación de pigmentos fosforescentes, semiconductor, compuesto para aleaciones de plata, endurecedor de vidrios y agente primario para estabilizadores térmicos de cloruro de polivinilo (PVC). El cloruro de cadmio tiene actividad fungicida, a su vez se utiliza como pigmento para pirotécnicos, aditivo en las disoluciones con estaño y fijador en tinción e impresión sobre textil. El estearato de cadmio en combinación con sulfato de bario se emplea como estabilizador de luz y calor en los plásticos de PVC. Otros usos menores, incluyen telururo de cadmio y sulfuro de cadmio en las células solares y fotográficas^{41, 89}.

Como se ha mencionado, el cadmio tiene diversas aplicaciones por lo que representa un peligro para la salud humana y el medio ambiente. Por tal motivo en los últimos años el uso del cadmio para estos fines ha ido disminuyendo, ya que en varios países se han establecido normas para disminuir su uso y disociación ambiental^{41, 90}.

2.2.3.4. Fuentes y vías de exposición

La estrecha relación del cadmio con el zinc hace posible que se encuentre en cualquier lugar que donde esté presente el zinc, pero a diferencia del cadmio que no posee función biológica en el organismo humano, el zinc es un metal esencial para la mayoría de las formas de vida, por lo que es improbable que cualquier materia de origen natural esté completamente libre de cadmio. Si bien el cadmio se encuentra naturalmente en la corteza terrestre y en el agua de océanos, también es emitido al ambiente producto de las actividades tanto naturales como humanas. Las fuentes de origen natural del cadmio involucran la meteorización de las rocas (particularmente roca de fosfato), actividad volcánica, rocío marino y dispersión del cadmio depositado en suelos, sedimentos, entre otros. Mientras que, las fuentes de origen humano abarcan la extracción y fundición de metales con zinc, plomo y cobre, producción industrial de baterías, la incineración de combustibles fósiles y desechos, uso de fertilizantes y fabricación de cemento. De las emisiones antropogénicas totales a mediados de la década de 1990 se estimaron aproximadamente 3000 toneladas, las cuales según disposiciones legales han ido disminuyendo en más del 90% en los últimos 50 años^{86,91}.

Se sabe que las actividades de minería proporcionan importantes cargas de fuentes puntuales para el medio ambiente; sin embargo, las actividades agrícolas que involucran el uso de fertilizantes en los campos han dado como resultado una elevada concentración de cadmio en los suelos. Una investigación realizada por Panagapko⁹² demostró que aproximadamente un tercio de la liberación no intencional de cadmio surge de la producción y uso de fertilizantes fosfatados, a diferencia de Pan et al.⁸⁷ quienes calcularon un valor de 56%. Aunque, las impurezas de cadmio en los fertilizantes varían considerablemente, se debe tomar

en cuenta que una vez aplicadas, pueden absorberse en productos alimenticios o lixiviarse en aguas superficiales y subterráneas. Otras fuentes adicionales de cadmio al ambiente se dan por la fabricación de productos que tienen en su composición al cadmio y, sobre todo, el uso y eliminación inadecuados de estos productos al final de su ciclo de vida^{89, 93}.

La exposición al cadmio de estas diversas fuentes se ve afectada debido a las condiciones específicas de los medios que se detallan a continuación:

Aire

El cadmio no se descompone en el medio ambiente, por lo que los compuestos de cadmio tales como óxido, sulfato o cloruro de cadmio, pueden transportarse largas distancias y depositarse en agua y suelos superficiales, los cuales experimentan una transformación mínima en la atmósfera y generan niveles elevados de cadmio incluso en lugares remotos, lo que contribuye a la exposición humana directamente por la respiración de aire contaminado^{84, 89}. La concentración promedio de cadmio en el aire de áreas rurales se encuentran entre 0.001 y 0.005 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y de 0.05 a 0.06 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en lugares urbanos. Sin embargo, estas concentraciones varían según la proximidad a la fuente industrial y la densidad de la población, como se registró en áreas industriales de diversos países de Europa alcanzando niveles de hasta 0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Por otro lado, es importante conocer que el tamaño de partícula de cadmio también afecta el grado de absorción por vía respiratoria por parte del organismo humano, ya que mientras más pequeña sea la partícula, esta puede permanecer suspendido en el aire por periodos de tiempo prolongados. Los tamaños de partícula en áreas urbanas y rurales generalmente son $< 2\mu\text{m}$ y a menudo considerablemente más pequeños^{94, 95}.

Suelo

La movilidad del cadmio en el suelo está influida por diversos factores, que incluyen depósitos húmedos o secos, tipo de suelo, concentración de humus, pH del suelo, accesibilidad a la materia orgánica, uso de fertilizantes, meteorología y la existencia de metales como zinc⁸⁴. En general, la concentración de cadmio biodisponible aumenta cuando el pH del suelo es ácido, con el uso de fertilizantes de fosfato por su alto contenido de cadmio y la abundancia de minerales arcillosos, carbonatos,

materia orgánica y óxidos hidratados, ya que estos en su mayor parte inmovilizan al cadmio, dejándolo disponible para la vida vegetal y de fácil ingreso al suministro de alimentos. De este modo, los suelos contaminados pueden contener niveles de concentración de cadmio superiores a 57 mg/kg y a 160 mg/kg en los alrededores de las industrias procesadoras de metales, a diferencia de los suelos no contaminados de todo el mundo, en donde la abundancia promedio de cadmio es de 0.36 mg/kg, aunque los valores pueden variar entre continentes, países y tipos de suelo^{37, 96}.

Agua

Cabe resaltar que una gran proporción de la concentración de cadmio en el medio acuático proviene de diversas fuentes en vez de fuentes de contaminación específicas. En el agua dulce, el cadmio está presente en forma de iones (Cd^{+2}) y en forma de complejos, $\text{Cd}(\text{OH})_2$ y CdCO_3 . Mientras que las formas solubles pueden migrar en el agua, promoviendo su alta biodisponibilidad y bioacumulación, los complejos de cadmio insolubles permanecen en el sedimento donde serán adsorbidas. Entre los compuestos insolubles en agua se encuentran el sulfuro de cadmio, el carbonato de cadmio y el óxido de cadmio; sin embargo, estos complejos pueden transformarse en sales solubles e interactuar con la luz, el oxígeno y sustancias ácidas, tal como las suspensiones acuosas de sulfuro de cadmio que se fotooxidan gradualmente a cadmio soluble. En cuanto al agua de mar, la formación de complejos de cadmio con el cloro se ve incrementada con la salinidad, por esta razón el cadmio está presente la mayor parte como especies de cloruro (CdCl^+ , CdCl_2) y en menor cantidad como Cd^{2+} . Se considera que, las concentraciones de cadmio en aguas sin contaminantes son $< 1\mu\text{g/L}$ a diferencia de las aguas cercanas a los depósitos minerales de cadmio que pueden tener concentraciones $\geq 1000\mu\text{g/L}$. Es así como, un ecosistema acuático contaminado provoca efectos negativos sobre la flora y fauna, ya que se acumula en los tejidos llegando a ser muy dañino también para la salud humana, si pasa a formar parte de la cadena alimentaria^{84, 90, 97}.

Alimentos

Los niveles de cadmio en los alimentos pueden variar mucho según el tipo de alimento, las prácticas agrícolas, la cantidad de deposición atmosférica y la contaminación antropogénica. En general, las verduras como la lechuga, la espinaca, alimentos básicos como la papa y el trigo contienen valores relativamente altos de cadmio, entre el rango de 0.050 mg/kg y 0.124 mg/kg, mientras que los alimentos como huevos, leche, queso, condimentos, grasas y aderezos poseen concentraciones bajas (≤ 0.004 mg/kg). No obstante, las carnes de mariscos, hígado y riñones pueden tener concentraciones más altas, llegando a valores de hasta 1 mg/kg. Además, se evidenció que las ostras de áreas contaminadas promediaron 18 mg/kg de peso seco, el cual fue significativamente más alto que las ostras de áreas limpias con una concentración promedio de 1.4 mg/kg de peso seco. Por tal motivo, los alimentos son considerados como una fuente de exposición importante para la población en general⁸⁴.

2.2.3.5. Toxicocinética

La absorción del cadmio por vía digestiva o inhalatoria conlleva a interacciones con micro y macroelementos necesarios que se manifiesta con la aparición de enfermedades en diversos órganos y tejidos. De manera que, se han propuesto varios modelos metabólicos multicompartimentales a fin de determinar el ciclo que cumple el cadmio en el organismo humano y los compartimentos en los que se reparte según la vía de absorción⁹⁸. Las interacciones de los bioelementos con el cadmio en diversas etapas de la absorción, distribución, metabolismo y excreción se describen de la siguiente manera:

Absorción

Según la exposición humana al cadmio, éste se puede absorber principalmente por vía digestiva e inhalatoria y en menor grado por vía dérmica, siendo las dos primeras vías de mayor interés toxicológico. La absorción por vía digestiva se desarrolla por ingestión de bebidas y alimentos que contienen cadmio, y abarca aproximadamente del 5 al 10% del total de cadmio que el organismo absorbe³⁷. Asu vez, el grado de absorción se ve afectado por diferentes variables entre ellas se encuentra el tamaño de partícula, el pH, la motilidad gastrointestinal, el consumo

de alimentos proteicos, alimentos con vitamina D, y también la concentración de metales esenciales como cobre, zinc, hierro y calcio. Lo importante del contenido de la dieta incluye un incremento de la absorción de cadmio en condiciones de baja ingesta o deficiencia de hierro, zinc, calcio, fibra y proteínas, o viceversa. Aunque los mecanismos de absorción gastrointestinal no son conocidos, diversos estudios muestran la expresión de proteínas transportadoras como el transportador de metales divalentes (DMT1) en el tracto gastrointestinal, el cual facilita la absorción del cadmio en el intestino delgado⁹⁹.

La absorción por vía inhalatoria del cadmio depende principalmente del tamaño de partícula y la composición química. Las partículas con un tamaño de diámetro igual a 5 μm se distribuyen principalmente a la región nasofaríngea en un 75% y se depositan en cantidades menores en la zona alveolar con un 20% y en la región traqueobronquial con un 5%. En cambio, las partículas con un tamaño de diámetro de 0.05 μm tales como del humo de cigarro, se depositan en un 50% en la zona alveolar y un 10% en la región traqueobronquial. Para todos los tamaños de partículas inicialmente depositadas en los compartimentos nasofaríngeo y traqueobronquial, el aclaramiento mucociliar elimina algunas partículas del tracto respiratorio y las envía al compartimento gastrointestinal para su absorción o fuera del cuerpo y de regreso al medio ambiente^{84, 100}.

En cuanto a la absorción por vía dérmica del cadmio, se han realizado pocas investigaciones sobre ello. Aunque, la mayoría de los estudios coincide en que la absorción dérmica es mínima y sucede solo por contacto con los componentes orgánicos del cadmio, por lo que no causa efectos significativos sobre la salud humana salvo que la exposición por esta vía sea a altas concentraciones por periodos prolongados de tiempo¹⁰¹.

Distribución

Una vez que se ha dado la absorción en los pulmones o el intestino delgado, el cadmio se traslada por medio de la sangre unido a la metalotioneína y se divide en 3 compartimentos de recambio; el primer compartimento es de recambio rápido hacia los demás órganos, el cual no genera acumulación; el segundo

compartimento es de recambio medio, constituido por glóbulos rojos que acumulan cadmio en pequeñas cantidades; y el tercer compartimento es de recambio lento, en donde el cadmio se almacena en los órganos blanco tal como el hígado y los riñones. El cadmio se retiene aproximadamente 30% en hígado, 30% en riñones y lo demás en el músculo, páncreas, glándulas salivales y en pequeñas cantidades en el sistema nervioso central, con una vida media de aclaramiento entre 25 a 30 años. Si bien la metalotioneína es una proteína que cumple función de transporte, su síntesis es inducida por el cadmio en las células del hígado y los riñones a fin de protegerlos de toxicidad con la formación de complejos cadmio-metalotioneína, lo cual inactiva al metal. Sin embargo, varios estudios han demostrado que la baja facultad del riñón para sintetizar metalotioneína, lo convierte en deficiente para captar cadmio con la consecuente manifestación de efectos adversos para la salud humana^{102, 103}.

Metabolismo

El cadmio no se metaboliza, por lo que no sufre transformación metabólica. Sin embargo, induce a la síntesis de metalotioneína con la que se compleja en los tejidos. La unión del cadmio a la metalotioneína forma un biocomplejo estable e inerte, éste complejo reduce la interferencia con otros componentes celulares y previenen los efectos agudos que normalmente se observan en la exposición aguda. No obstante, la exposición al cadmio a largo plazo repercute de forma negativa principalmente en el hígado y los riñones debido a su acumulación¹⁰⁴.

Eliminación

Normalmente, la eliminación es muy lenta y tiene lugar a través de la orina y las heces, el cual comprende aproximadamente del 0.01 al 0.02% de la carga corporal total del cadmio, cantidades menores se excretan en sudor, saliva, cabello y leche materna. La eliminación a través de la orina aumenta con la edad y es proporcional a la carga corporal del cadmio, mientras que la producción fecal total de cadmio no está relacionada con la edad debido a que a que una gran proporción (generalmente del 90 al 95%) del cadmio ingerido no se absorbe. Los estudios han demostrado que la excreción real de cadmio en las heces depende de la cantidad;

por lo que a dosis bajas o moderadas es aproximadamente lo mismo que la eliminación urinaria⁹⁹.

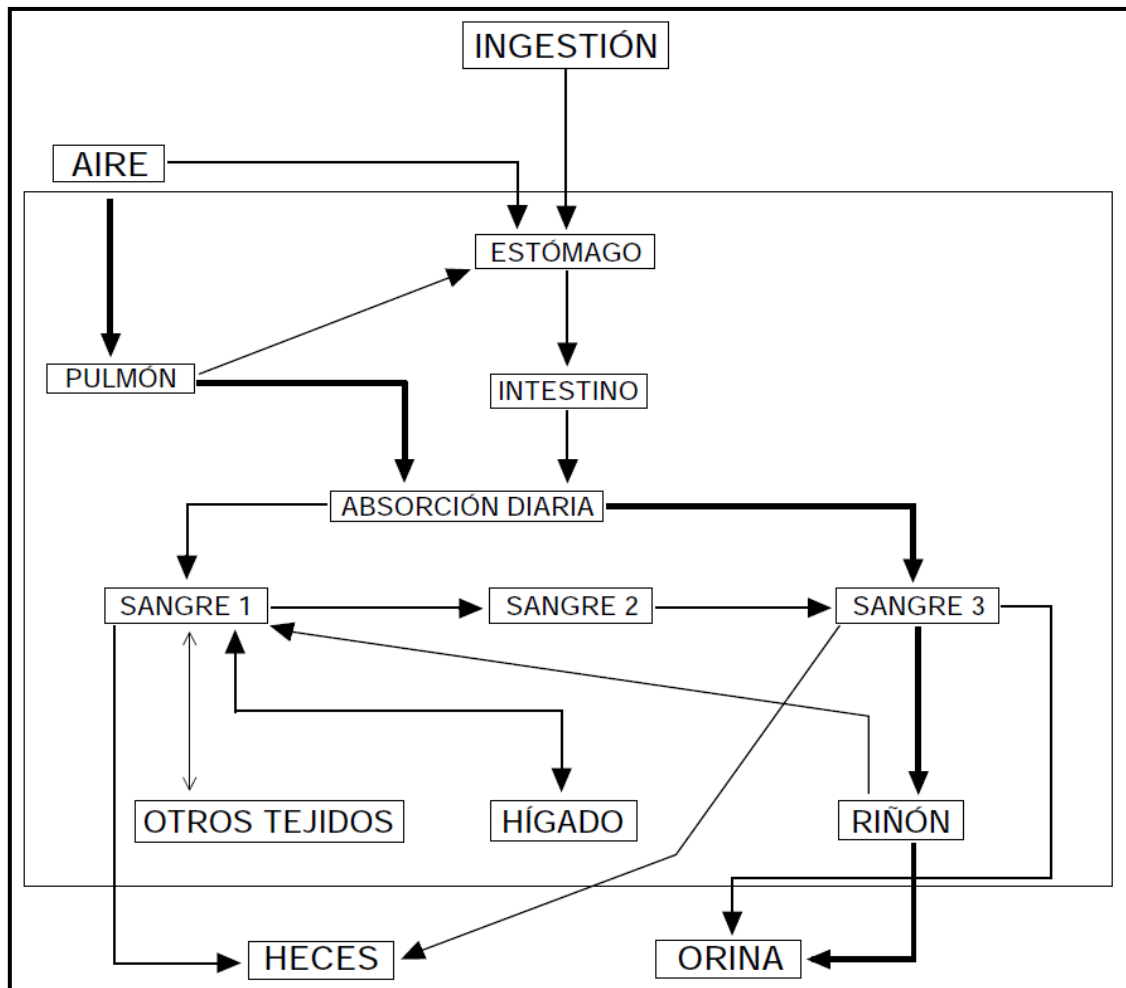


Figura 9. Toxicocinética del cadmio en el cuerpo humano¹⁰³.

2.2.3.6. Toxicodinamia

El cadmio es un metal no esencial muy tóxico, que se acumula en los tejidos humanos. Los efectos dañinos del cadmio se deben principalmente a su gran unión hacia los radicales sulfhidrilo de proteínas intracelulares y su competitividad con otros metales esenciales como el calcio, zinc y cobre. Debido a la unión del cadmio con los enlaces sulfhidrilo del glutatión reducido (GSH) se genera el aumento de la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) tales como el ion superóxido, el peróxido de hidrógeno y los radicales hidroxilos provocando estrés oxidativo. El cadmio también inhibe la actividad de enzimas antioxidantes como la catalasa y el superóxido dismutasa, por lo que la metalotioneína ejerce su acción como antioxidante y elimina los radicales hidroxilo y superóxido. De modo que las células

que contienen metalotioneínas son resistentes a la toxicidad por cadmio, mientras que las células que no pueden sintetizarla son sensibles a la intoxicación por cadmio. Entre otras interacciones del cadmio se encuentra la modulación sobre el nivel celular de calcio, las actividades de las caspasas y las proteínas quinasas activadas por nitrógeno las cuales inducen a la apoptosis celular indirectamente. Además de su acción dañina sobre los ácidos nucleicos generando aberraciones cromosómicas, roturas de cadenas de ADN y enlaces cruzados de ADN-proteína en líneas celulares^{103, 105, 106}.

2.2.3.7. Efecto sobre la salud humana

La población está expuesta a la intoxicación por cadmio por vía inhalatoria a través de las partículas de cadmio que circulan en el aire y por vía digestiva a través de la ingesta de alimento y/o agua, presentando daños a diferentes niveles:

A nivel respiratorio: La afinidad del cadmio en vapor o polvo por la vía inhalatoria es ampliamente alta desarrollando una exposición aguda¹⁰⁷, que conlleva a una neumonitis química, edema pulmonar y cáncer de pulmón¹⁰⁸ y se transfiere al tubo digestivo a través de una depuración mucociliar, un 60 % de este metal¹⁰⁹. A largo plazo se deteriora la función pulmonar por la presencia de parámetros inflamatorios pulmonares¹¹⁰ asociada a una exposición ocupacional que es característico de la enfermedad crónica obstructiva en las vías respiratorias y con una exposición continua ocasionar insuficiencia respiratoria, también favorece al desarrollo del cáncer a los pulmones¹¹¹.

A nivel neurológico: El cadmio produce trastornos cognitivos por daños a nivel de las neuronas colinérgicas del cerebro anterior basal^{112, 113}, debido a las alteraciones de la acetilcolinesterasa por la inactivación de enzimas antioxidantes y la inducción del estrés oxidativo¹¹⁴, causado por la unión del cadmio al grupo sulfhidrilo que liberan radicales libres dejando al cerebro susceptible al estrés oxidativo^{115, 116}. Además, induce la apoptosis astrocítica, disminuye el glutatión intracelular y aumenta el calcio intracelular, deteniendo el ciclo celular¹¹⁷ y suprime la liberación de neurotransmisores¹¹⁸.

A nivel cardiovascular: A baja exposición de cadmio se puede asociar con hospitalizaciones en insuficiencia cardíaca en mujeres mayores e inclusive la muerte¹¹⁹, en los marcadores de exposición al cadmio (sangre y orina) se detectan niveles altos del metal que se pueden asociar al aumento de la mortalidad por enfermedad coronaria, accidente cerebrovascular y enfermedad arterial periférica. Asimismo, existe una asociación del cadmio en la sangre (Cd-S) con la presión arterial y nivel de lípidos en la sangre¹²⁰, por los cambios aterogénicos en el perfil lipídico que implica altos niveles de colesterol total, lipoproteínas de baja densidad (LDL) y bajo nivel de lipoproteínas de alta densidad (HDL); y por ende podría desarrollar las placas ateroscleróticas coronarias¹⁰³; el estrés oxidativo, inflamación, disfunción endotelial, aumento de síntesis de lípidos, regulación positiva de las moléculas de adhesión, desbalance de prostanoïdes, así como síntesis de glicosaminoglicanos alterados podrían ser mecanismos que provocan el efecto aterogénico del cadmio¹²².

A nivel óseo: A través de la ingesta oral, el cadmio produce la osteomalacia y osteoporosis a causa del daño renal^{108, 123, 124, 125} debido a la atrofia difusa de los túbulos proximales, los mitocondrias del túbulo proximal disminuyen en número lo cual puede afectar el sistema de energía del transporte activo para el calcio y fósforo¹²⁶ interfiriendo con la homeostasis, metabolismo del calcio¹²⁷, señalización celular, remodelación del citoesqueleto y como posible consecuencia una apoptosis celular, según en un estudio de Shen HM et col¹²⁸. donde se indujo con cadmio a los timocitos de ratones; a una exposición crónica del cadmio se estimula la formación de osteoclastos produciendo cambios en propiedades mecánicas óseas y baja densidad mineral ósea, generando el riesgo de osteoporosis, osteomalacia y fractura ósea^{129, 130, 131, 132, 133}.

A nivel renal: El proceso inicia con la filtración del cadmio unido a metalotioneina (MT) en el glomérulo y posterior reabsorción a nivel de los túbulos proximales (TP), en donde el complejo de metalotioneina-cadmio es catabolizado en los lisosomas provocando la liberación de iones de cadmio. Cuando el metal alcanza altas concentraciones en las células renales (mitocondria) como se da en el caso de una exposición crónica ocurre formación de radicales libres y subsecuente apoptosis.

Esta desestabilización resulta en la disminución de reabsorción de proteínas (microglobulina b2, lisozima, ribonucleasa, proteína de unión al retinol), aminoácidos, glucosa y posterior eliminación a través de la orina creando procesos patológicos como la proteinuria, aciduria y glucosuria¹³⁵. A medida que avanza el daño, el cadmio causa lesiones a nivel del túbulo proximal renal, que conduce a una necrosis del túbulo proximal y, por ende, una disfunción renal. También causa la nefropatía, siendo irreversible debido a que conduce a la fibrosis renal intersticial¹³⁶.

A otros niveles: Actividad teratogénica, a nivel de placenta se retiene el cadmio, por ende, cuando el neonato o feto nace su nivel de cadmio es bajo¹³⁶; no se han demostrado en humanos, pero sí a través de modelos animales¹²⁷. Sobre el aparato reproductivo: a nivel del ovario por la alteración de los índices de esteroidogénesis ovárica y placentaria¹³⁷, considerado al cadmio como un disruptor endocrino. Genotoxicidad, por medio de modelos animales, el cadmio a niveles altos, indirectamente, aumenta la genotoxicidad del peróxido de hidrogeno quien tiene efectos potencial para el ADN, por otro lado el cadmio disminuye la reparación del ADN, debido a la inhibición del inicio del apoptosis(encargada de la defensa contra la neoplasia)¹³⁸; por ello la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer - IARC, clasifica al cadmio como cancerígeno del grupo I, desde el 2012¹³⁹, para un número de órganos comprobados a nivel epidemiológico del ser humano como pulmones¹⁴⁰, próstata¹⁴¹, riñones¹⁴², estómago¹⁴³ y en otros órganos que aún faltan estudiar.

2.2.4. Técnica analítica en la determinación de metales en alimentos

La determinación de metales en matrices complejas tales como alimentos requieren del tratamiento de la muestra previo al análisis instrumental debido a que se obtiene una mejor precisión y exactitud en muestras en solución, así como también un rendimiento óptimo en la mayoría de los equipos instrumentales¹⁴⁴. Los métodos clásicos o tradicionales de tratamiento de las muestras son referidas a menudo como digestión por vía húmeda e incineración en seco, ambos realizados en un sistema abierto¹⁴⁵. Este último método es recomendado respecto a la digestión por

vía húmeda por cuatro razones: Se utilizan pequeñas cantidades de reactivos químicos, por lo tanto, es económico, implica riesgos menores asociados con el uso de reactivos químicos, requiere el uso de un horno mufla, que es un equipo simple y de fácil manejo y por último se obtiene una mejor recuperación de los metales como plomo, cobre, manganeso, níquel, cadmio y zinc en frutas, vegetales, legumbres y cereales¹⁴⁶.

Existen varias técnicas analíticas que pueden ser empleadas para medir la concentración de metales en alimentos. Las técnicas más predominantes son: Espectrometría de absorción atómica por llama (FAAS); espectrometría de absorción atómica con horno grafito (GFAAS); espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) y espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES)^{147, 148}.

2.2.4.1. Espectrometría de absorción atómica

La espectrometría de absorción atómica es utilizada para identificar y cuantificar elementos presentes en diferentes matrices a través de un procedimiento llamado atomización, que transforma elementos de la solución de la muestra en átomos o iones de los elementos a estado gaseoso.

La atomización de una muestra en solución se puede lograr de dos formas: la atomización por aplicación de una llama que se realiza por la técnica analítica de espectrometría de la absorción atómica con llama y atomización electrotérmica mediante el uso de un horno grafito, aplicada en la espectrometría de absorción atómica con horno grafito¹⁴⁹.

Una principal desventaja de la espectrofotometría de la absorción atómica de llama es por los quemadores no son muy eficiente en el muestreo. La muestra atomizada pasa a través de la fuente de radiación muy rápidamente y solo una pequeña fracción del vapor nebulizado alcanza la llama. Por lo tanto, la técnica de muestreo más avanzada y ampliamente utilizada es la que emplea un horno de grafito para la atomización electrotérmica debido a que incrementa la sensibilidad analítica¹⁵⁰.

2.2.4.2. Fundamento de la espectrometría de absorción atómica acoplado con horno grafito

Se fundamenta en la atomización del plomo y cadmio; es decir, los átomos de estos metales hallados en la muestra son ionizados y absorben una cantidad de luz a una determinada longitud de onda. Al medir la cantidad de luz absorbida se hace la determinación cuantitativa, ya que dicha cantidad es proporcional a la cantidad del elemento presente¹⁵¹.

2.2.5. Normatividad

2.2.5.1. Internacional

Las normas internacionales de los alimentos han ido evolucionando a lo largo del tiempo para la protección de la salud del usuario; tal es el caso del Codex Alimentarius, un programa conjunto de normas alimentarias entre la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de Salud (OMS), tiene como objetivo que la salud de los consumidores sea preservada y que el comercio de los alimentos sea garantía de equidad, calidad e inocuidad de los mismos¹⁵². Asimismo, la Unión Europea dispone en su normativa que los niveles máximos de contaminantes en los alimentos deberían garantizar una protección eficaz de la salud pública.

En el 2003, la Unión Europea se convierte en miembro de la Comisión del Codex Alimentarius, organismo encargado de actualizar el Codex, para una armonización de la legislación alimentaria⁷.

Codex Alimentarius: En la norma general del Codex para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos. CODEX STAN 193-1995, clasifica a la fresa como frutas pequeñas y distintas de las cucurbitáceas:

Tabla 2. Límites máximos permisibles según Codex.

Metal	Alimento	Niveles en mg/Kg
Plomo	Bayas y otras frutas pequeñas	0.10
Cadmio	Hortalizas de fruto, distintas de las cucurbitáceas	0.05

Fuente: Elaboración propia

Unión Europea: De acuerdo con el Reglamento CE N° 1881/2006, ley que fija el contenido máximo de contaminantes en los alimentos y sus modificatorias, los reglamentos (UE) 2021/1317 y (UE) 2021/1323 para plomo y cadmio respectivamente, estos refieren que las concentraciones de contaminantes en alimentos deben ser aceptables, toxicológicamente, para su comercialización, la mezcla con otros alimentos y ser ingrediente de otro alimento^{153, 154}.

Tabla 3. Límites máximos permisibles según Unión Europea.

Metal	Alimento	Niveles en mg/Kg
Plomo	Las frutas, omitiendo arándanos, grosellas, bayas de sauco y madroños	0.10
Cadmio	Las frutas, excepto los puntos 3.2.1.1, 3.2.1.2 y 3.2.1.3	0.03

Fuente: *Elaboración propia*

2.2.5.2. Nacional

En la normativa peruana se dispone de la Ley de Inocuidad de los Alimentos aprobado con Decreto Legislativo N° 1062, que tiene como objetivo garantizar la inocuidad de los alimentos destinados al consumo humano con el propósito de proteger la vida y la salud de las personas¹⁵⁵. Posterior al Decreto Legislativo N° 1062 se establece el Reglamento de Inocuidad Agroalimentaria aprobado con Decreto Supremo N° 004-2011-AG, en donde el Servicio Nacional en Sanidad Agraria (SENASA) conforma el máximo poder oficial del Sistema Nacional de Inocuidad Agroalimentaria (SINIA), seguido de gobiernos de las regiones y localidades. Mediante este reglamento las autoridades competentes deben asegurar la inocuidad alimentaria agrícola primaria y alimento procesado mediante vigilancia sanitaria que implica la realización de inspecciones y monitoreos los que recaen sobre toda persona natural o jurídica que participe directa o indirecta en ciertas etapas de las principales cadenas agroalimentaria y piensos a nivel nacional. Entre los requerimientos de estricto cumplimiento se encuentra que los alimentos agropecuarios primarios que se consumen en el mercado nacional no excedan los límites máximos permisibles de residuos químicos y otros contaminantes (plomo, cadmio, entre otros) establecidos en la normativa nacional,

en caso de su ausencia se considera lo dispuesto por la Legislación alimentaria del Codex Alimentarius⁹.

2.3. Glosario de términos

Bioacumulación: Se denomina a la acumulación de un metal u otra sustancia perenne en el ser vivo, la cual se da a partir de otros organismos o del medio ambiente (suelo, aire, agua)¹⁵⁶.

Biodisponibilidad: Se refiere a la concentración de un elemento que se encuentra disponible para los organismos vivos. Se representa como el nexo entre la cantidad del elemento en la superficie de la tierra y la cantidad captada por organismo¹⁵⁷.

Biomarcador: Es un evento que surge en un sistema biológico, el cual es interpretado como indicador del estado de salud, esperanza de vida o riesgo de enfermedad¹⁵⁸.

Disruptor endocrino: Es una sustancia química capaz de alterar el equilibrio hormonal, así como la regulación del desarrollo embrionario; por tanto, tiene la capacidad de provocar efectos adversos en la salud de un organismo vivo o de su descendencia¹⁵⁹.

Fitodisponibilidad: Se define como la capacidad de movilización de una sustancia contenida en el suelo hacia las plantas¹⁶⁰.

Metaloenzima: Es una proteína enzimática que contiene iones metálicos (cofactores metálicos), que se unen directamente a la proteína o a componentes no proteicos unidos a la enzima denominados grupos prostéticos¹⁶¹.

Metalotioneína: Es una proteína que se encarga de mantener la homeostasis del zinc y cobre, además intervienen con la desintoxicación de metales como cadmio y el mercurio¹⁶².

Nefritis intersticial: Es un tipo de daño renal que surge como resultado de diversas etiologías. En su estado inicial, predomina la presencia de infiltrados inflamatorios, tubulitis y edemas, mientras que en estado avanzado se manifiesta un descenso progresivo de la función renal¹⁶³.

Osteomalacia: Se define como la falta de mineralización de la sustancia osteoide, la cual afecta tanto al hueso cortical como al hueso esponjoso maduro. Esta enfermedad se puede presentar en niños y adultos¹⁶⁴.

Osteoporosis: Es una enfermedad en la que el hueso presenta una menor resistencia debido a una disminución de la densidad mineral ósea, lo que provoca una mayor fragilidad y predisposición a sufrir fracturas¹⁶⁵.

Recambio óseo: Es un proceso de renovación de tejido deteriorado que es mediado por los estrógenos que desempeñan un papel importante en la regulación celular y a nivel molecular¹⁶⁶.

Resorción ósea: Se define como la pérdida de sustancia de cualquier tejido mineralizado (hueso, cemento, dentina, esmalte), la cual es mediada por sistemas celulares y humorales propios¹⁶⁶.

III. VARIABLES

3.1. Variables

Variable independiente

Fragaria ananassa (Fresa)

Variable dependiente

Concentración de plomo y cadmio

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Área de estudio

El estudio incluyó la toma de muestras de fresas en tres mercados mayoristas de Lima Metropolitana:

- a) Mercado Mayorista N° 2 de Frutas (12°04'02.73" S 76°59'.75" O): Ubicado en el distrito de La Victoria, delimitado por las avenidas Circunvalación, Pablo Patrón y Nicolas Arriola.
- b) Mercado Modelo de Frutas (12°03'58.04" S 77°00'06.57" O): Ubicado en el distrito de La Victoria, delimitado por las avenidas Pablo Patrón, Nicolas Arriola y Jirón Antonio Alarco.
- c) Gran Mercado Mayorista de Santa Anita (12°02'20.02" S 76°56'49.07" O): Ubicado en el distrito de Santa Anita, delimitado por las avenidas Metropolitana, De la Cultura, 22 de Julio y Nicolas Ayllón.

4.2. Tipo de investigación

Diseño no experimental y de corte transversal.

4.3. Población y muestra

La unidad de análisis es *Fragaria ananassa* (Fresa) expendida en tres principales mercados mayoristas de Lima.

La población consta de tres principales mercados mayoristas de Lima: Mercado Mayorista N° 2 de Frutas, Mercado Modelo de Frutas y Gran Mercado Mayorista de Santa Anita, con un total 60 puestos que expenden fresas.

Las muestras fueron seleccionadas aleatoriamente (muestreo no probabilístico) de 30 puestos, de las cuales se escogió una muestra de 0.5 Kg por cada puesto de la siguiente manera:

- Mercado Mayorista N° 2 de Frutas: 13 muestras de fresas (6.5 Kg).
- Mercado Modelo de Frutas: 5 muestras de fresas (2.5 Kg).
- Gran Mercado Mayorista de Santa Anita: 12 muestras de fresas (6.0 Kg).

4.4. Procedimientos, técnicas e instrumentos de recolección de información

4.4.1. Técnica de recolección de muestra

Cada muestra fue colocada en una bolsa con cierre hermético (bolsa ziploc) y codificada de acuerdo con el lugar de procedencia; luego se transportaron inmediatamente al Centro de Información, Control Toxicológico y Apoyo a la Gestión Ambiental – CICOTOX.

4.4.2. Técnica analítica de la determinación de metales en alimentos

El tratamiento de las muestras de fresas se realizó por incineración en seco y la técnica analítica empleada en el estudio cuantitativo de plomo y el cadmio fue la espectrofotometría de absorción atómica acoplado con horno grafito (GFAAS).

4.4.3. Equipos, reactivos y materiales

Equipos

- Equipo espectrómetro de la absorción atómica, marca: Thermo Fisher Scientific, modelo: iCE 3000.
- Plancha térmica, marca Praktica, modelo: PCE-02.
- Mufla eléctrica, marca Nabertherm, modelo: L5/12/B18.
- Estufa, marca: Memmert, modelo: UN55.
- Balanza analítica, marca: Radwag, modelo: AS 220.R2.

Materiales

- Fiolas de vidrio, capacidades: 10 mL, 25 mL, 100 mL, 1 L.
- Micropipetas de medidas 100 µL, 500 µL y 1000 µL.
- Lunas de reloj de vidrio, D 0.95 mm.
- Crisoles de porcelana de 25 mL, D. 0.25mm.

- Pinzas metálicas para crisol
- Placas Petri de vidrio, D 0.9 mm.
- Bolsas de plástico (ziploc) de 27.9 x 35.6cm
- Vasos precipitados de vidrio de capacidades: 50 mL y 100 mL
- Tips plásticos de medidas: 10 -100 μL , 500 - 5000 μL y 100 - 1000 μL

Reactivos

- Ácido nítrico 65% grado Reactivo, marca Merck.
- Ácido clorhídrico 37.3%, grado Reactivo, marca Merck.
- Agua ultrapura, grado 1.
- Estándar de plomo, solución patrón trazable a SRM de NIST Pb (NO₃)₂ en HNO₃ 0,5% (v/v) 1000 mg/L, marca Inorganic Ventures.
- Estándar de cadmio, solución patrón trazable a SRM de NIST Cd (NO₃)₂ en HNO₃ 3% (v/v) 1000 mg/L, marca Inorganic Ventures.

4.4.5. Procedimiento Experimental

Limpieza y acondicionamiento de los materiales

Los materiales se lavaron con agua potable y detergente neutro, luego se enjuagaron con agua ultrapura y se dejaron reposar en ácido nítrico 10% (HNO₃) por 24 horas. Finalmente, se enjuagaron 4 a 5 veces con agua ultrapura y secaron en estufa.

Pretratamiento y tratamiento de las muestras

Primero, se lavaron las muestras de fresas con agua grado 1, luego fueron extraídos los pedúnculos y se cortaron en trozos pequeños. Después se pesó aproximadamente 100 g de cada muestra y se llevó a una placa Petri para posterior secado en estufa hasta obtener un peso constante. Luego, se pesó 4 g de muestra de fresa seca en un crisol y se llevó a plancha térmica a 100°C hasta posterior calcinación. Finalmente, la muestra calcinada fue llevada a una mufla a 450°C por 10 horas con la obtención final de cenizas grises o blancas, que fueron disueltas con 5 mL de ácido clorhídrico 6 M (HCl 6 M) y evaporados en una plancha térmica hasta 0.1 mL aproximadamente. El residuo obtenido se disolvió y enrasó con ácido nítrico 0.1 M (HNO₃ 0.1 M) en una fiola de 25 mL.

4.4.6. Determinación de plomo

Preparación de soluciones estándar

Se preparó una solución de 10000 ppb a partir de la solución estándar de plomo de concentración 1ppm, luego se prepararon 5 soluciones a concentraciones de 100, 200, 300, 400, y 600 ppb en matraces aforados de 100 mL enrasadas de agua ultrapura.

Tabla 4. Concentración y absorbancias de los estándares de plomo.

Estándares	Concentración (ppb)	Absorbancia
Blanco	0	0.001
Estándar 1	100	0.048
Estándar 2	200	0.099
Estándar 3	300	0.151
Estándar 4	400	0.210
Estándar 5	600	0.308

Fuente: Elaboración propia

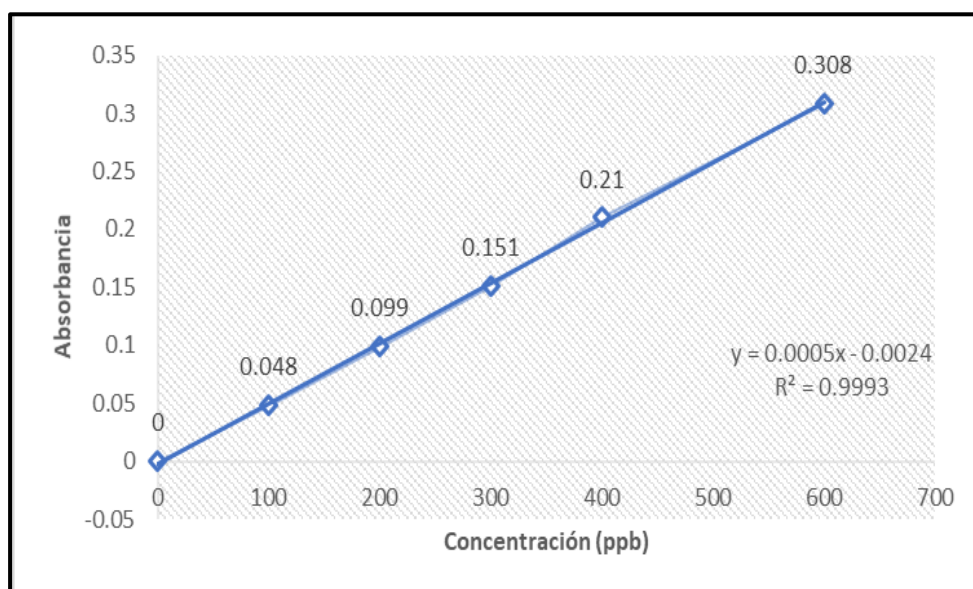


Figura 10. Curva de calibración de plomo.

Fuente: Elaboración propia

Parámetros

Los parámetros espectrofotométricos y del horno grafito para la determinación del plomo fueron las siguientes:

Tabla 5. Parámetros espectrofotométricos del plomo.

Elemento	Pb
Longitud de la onda	217.0 nm
Fuente de luz	Lámpara de cátodo hueco
Corrección de fondo	Lámpara de deuterio
Tiempo de medida	2.0 segundos
Forma de medida	Absorbancia
Abertura	1.0 nm
Corriente de la lámpara	90%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Parámetros de la cámara de grafito del plomo.

Cámara de grafito	Normal				
Temperatura de inyección	50° C				
Programa Horno (32,4 segundos)					
Fase	Temp. (°C)	Tiempo (s)	Rampa (°C/s)	Gas	Flujo de gas
1	105	18.0	60	Argón UHP	0.3 L/min.
2	400	5.0	150	Argón UHP	0.3 L/min.
3	400	0.5	50	Argón UHP	Apagado
4	1800	2.0	0	Argón UHP	Apagado
5	2600	4.0	0	Argón UHP	0.3 L/min.

Fuente: Elaboración propia

4.4.7. Determinación de cadmio

Preparación de soluciones estándar

Se prepararon 5 soluciones a concentraciones de 1, 5, 10, 15, y 20 ppb, a partir de la solución estándar de cadmio de concentración 100 ppb en matraces aforados de 100 mL enrasadas en agua ultrapura.

Tabla 7. Concentración y absorbancias de los estándares de cadmio.

Estándares	Concentración (ppb)	Absorbancia
Blanco	0	0
Estándar 1	1	0.065
Estándar 2	5	0.224
Estándar 3	10	0.386
Estándar 4	15	0.562
Estándar 5	20	0.764

Fuente: Elaboración propia

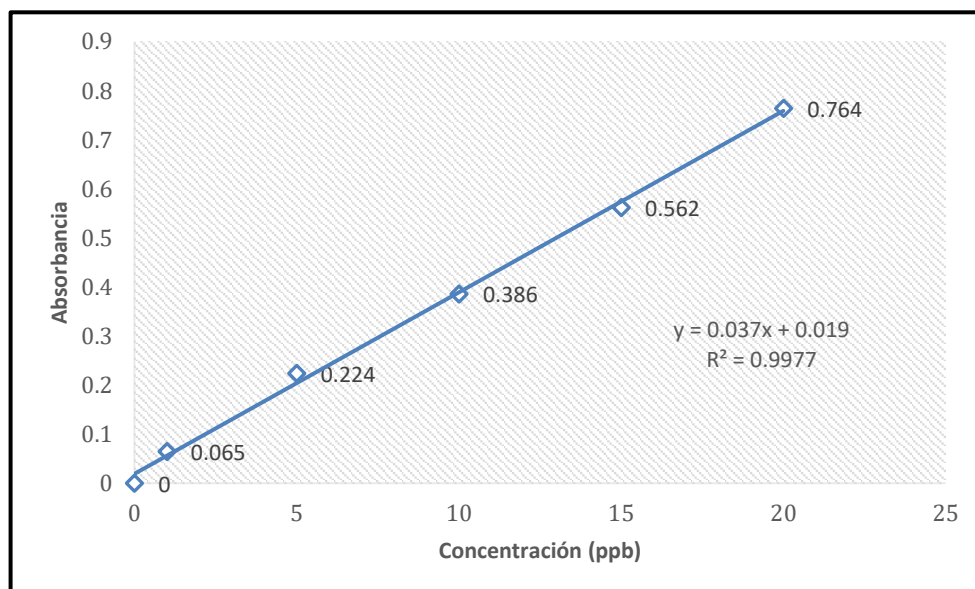


Figura 11. Curva de calibración de cadmio.

Fuente: Elaboración propia

Parámetros

Los parámetros espectrofotométricos y del horno grafito para la determinación del cadmio fueron las siguientes:

Tabla 8. Parámetros espectrofotométricos del cadmio.

Elemento	Cd
Longitud de onda	228.8 nm
Fuente de luz	Lámpara de cátodo hueco
Corrección de fondo	Lámpara de deuterio
Tiempo de medida	2.0 segundos
Forma de medida	Absorbancia
Abertura	0.5 nm
Corriente de la lámpara	50%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Parámetros de la cámara de grafito del cadmio.

Cámara de grafito		Normal			
Temperatura inyectora		50° C			
Programa Horno (40.6 segundos)					
Fase	Temp. (°C)	Tiempo (s)	Rampa (°C/s)	Gas	Flujo de Gas
1	130	19.0	130	Argón UHP	0.2 L/min
2	350	10.0	44	Argón UHP	0.2 L/min
3	1200	2.0	0	Argón UHP	Apagado
4	2500	2.0	650	Argón UHP	0.2 L/min

Fuente: Elaboración propia

4.5. Análisis estadístico

Los datos obtenidos posterior a la evaluación del plomo y del cadmio fueron tabulados en Excel y procesados mediante el programa estadístico Minitab versión 19, lo que nos permitió organizar los resultados en tablas y gráficos.

V. RESULTADOS

5.1. Presentación y análisis de los resultados

Tabla 10. Concentración de plomo (mg/kg) en fresas.

N°	Código	Mercado Mayorista de Frutas	Concentración de Plomo (mg/Kg)
1	1-01	Mercado Modelo de Frutas	0.036
2	1-02	Mercado Modelo de Frutas	0.016
3	1-03	Mercado Modelo de Frutas	0.041
4	1-04	Mercado Modelo de Frutas	0.114
5	1-05	Mercado Modelo de Frutas	0.135
6	2-01	Mercado Mayorista Numeral 2 de Frutas	0.076
7	2-02	Mercado Mayorista Numeral 2 de Frutas	0.095
8	2-03	Mercado Mayorista Numeral 2 de Frutas	0.065
9	2-04	Mercado Mayorista Numeral 2 de Frutas	0.057
10	2-05	Mercado Mayorista Numeral 2 de Frutas	0.180
11	2-06	Mercado Mayorista Numeral 2 de Frutas	0.059
12	2-07	Mercado Mayorista Numeral 2 de Frutas	0.113
13	2-08	Mercado Mayorista Numeral 2 de Frutas	0.118
14	2-09	Mercado Mayorista Numeral 2 de Frutas	0.073
15	2-10	Mercado Mayorista Numeral 2 de Frutas	0.076
16	2-11	Mercado Mayorista Numeral 2 de Frutas	0.126
17	2-12	Mercado Mayorista Numeral 2 de Frutas	0.011
18	2-13	Mercado Mayorista Numeral 2 de Frutas	0.019
19	3-01	Gran Mercado mayorista de Santa Anita	0.116
20	3-02	Gran Mercado mayorista de Santa Anita	0.141
21	3-03	Gran Mercado mayorista de Santa Anita	0.027
22	3-04	Gran Mercado mayorista de Santa Anita	0.095
23	3-05	Gran Mercado mayorista de Santa Anita	0.082
24	3-06	Gran Mercado mayorista de Santa Anita	0.072
25	3-07	Gran Mercado mayorista de Santa Anita	0.005
26	3-08	Gran Mercado mayorista de Santa Anita	0.104
27	3-09	Gran Mercado mayorista de Santa Anita	0.092
28	3-10	Gran Mercado mayorista de Santa Anita	0.029
29	3-11	Gran Mercado mayorista de Santa Anita	0.120
30	3-12	Gran Mercado mayorista de Santa Anita	0.217

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 10 se evidencia las concentraciones de plomo (mg/kg) de 30 muestras de *Fragaria ananassa* (Fresas) expendida en tres importantes mercados mayoristas de Lima.

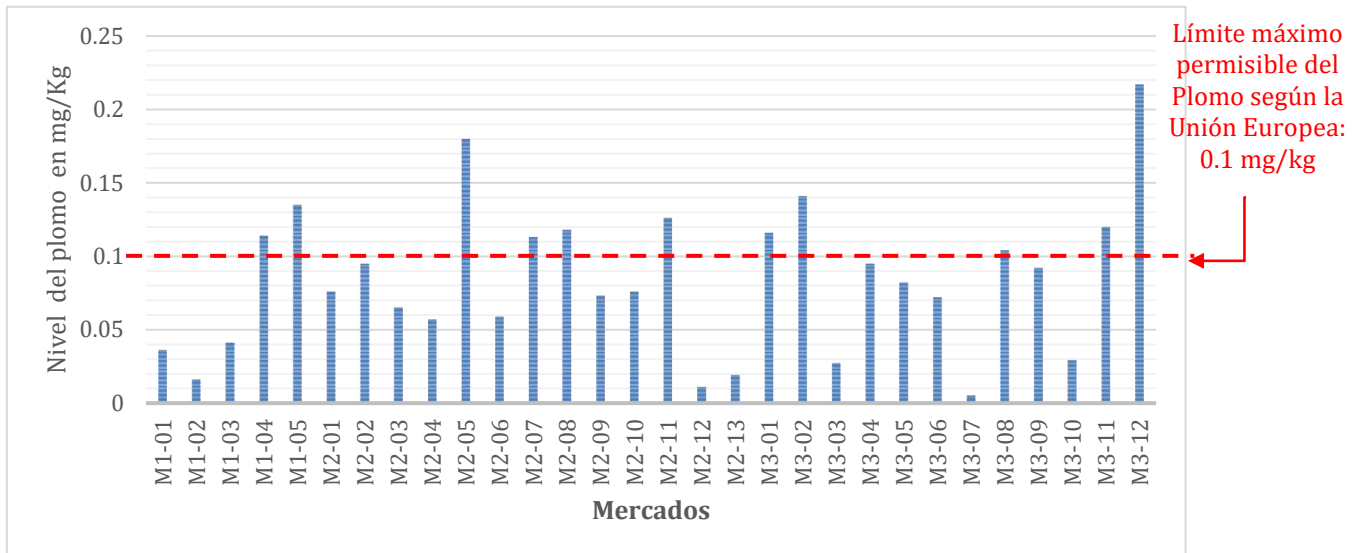


Figura 12. Comparación de los niveles de plomo en fresas con los LMP dados por la UE.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 12 se comparan las concentraciones de plomo (mg/kg) de las 30 muestras de *Fragaria ananassa* (Fresas) expendidas en tres importantes mercados mayoristas de Lima, con el LMP del plomo según la UE (0.10 mg/Kg).

Tabla 11. Porcentajes de las concentraciones de plomo (mg/kg) en fresas que superan lo establecido por la UE.

Mercado Mayorista de Frutas	N	Cantidad que supera LMP	Porcentaje que supera LMP
Mercado Modelo de Frutas	5	2	40.00%
Mercado Mayorista N° 2 de Frutas	13	4	30.77%
Gran Mercado mayorista de Santa Anita	12	5	41.67%
Total	30	11	36.67 %

Fuente: Elaboración propia

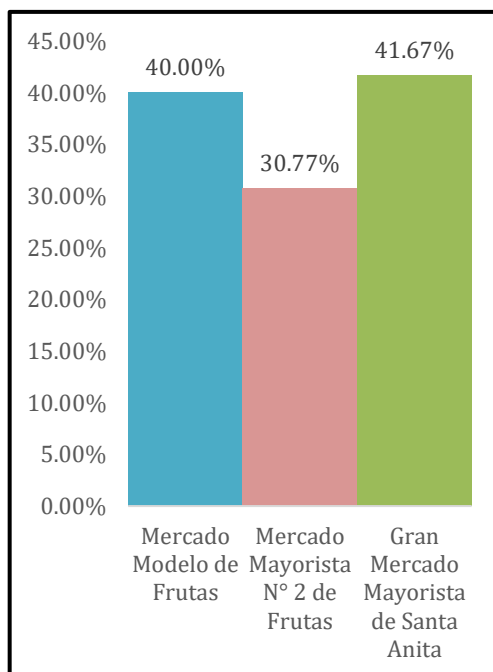


Figura 13. Porcentajes de los niveles de plomo que superan lo establecido por la UE.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la tabla 11, detalla las cantidades y los porcentajes del nivel de plomo de los 3 mercados mayoristas de Lima que superan el LMP del nivel de plomo establecido por la UE; y de la figura 13 se visualiza los porcentajes de los 3 mercados mayoristas de Lima, que superan el LMP del nivel de plomo establecido por la UE.

Tabla 12. Media de los niveles del plomo en fresas según el mercado mayorista de Lima.

Mercado Mayorista de Frutas	N	Media	Desv. Est.	Mínimo	Máximo
Gran Mercado mayorista de Santa Anita	12	0.092	0.057	0.005	0.217
Mercado Modelo de Frutas	5	0.068	0.053	0.016	0.135
Mercado Mayorista N° 2 de Frutas	13	0.082	0.045	0.011	0.180
Total	30	0.083	0.050	0.005	0.217

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 12 se aprecia que la media de la concentración de plomo en fresas es 0.083 mg/kg, del cual la media del plomo en el Gran Mercado mayorista de Santa Anita es 0.092 mg/kg, Mercado Mayorista N° 2 de Frutas es 0.082 mg/kg y Mercado Modelo de frutas es 0.068 mg/kg.

Tabla 13. Comparación de la media de los niveles de plomo en fresas con los LMP dados por la UE.

Mercados Mayorista de Frutas	N	Media	p valor
Gran Mercado mayorista de Santa Anita	12	0.092	0.311
Mercado Modelo de Frutas	5	0.068	0.125
Mercado Mayorista N° 2 de Frutas	13	0.082	0.090
Total	30	0.083	0.081

Fuente: Elaboración propia

Se observa en la tabla 13 la comparación de la media de las concentraciones del plomo en fresas (0.083 mg/kg) de cada mercado mayorista de Lima, los cuales son menores al LMP recomendado por la UE (0.10 mg/Kg).

Tabla 14. Concentración de cadmio (mg/kg) en muestras de fresas.

N°	Código	Mercado Mayorista de Frutas	Concentración de Cadmio (mg/kg)
1	1-01	Mercado de Modelo de Frutas	0.038
2	1-02	Mercado de Modelo de Frutas	0.021
3	1-03	Mercado de Modelo de Frutas	0.028
4	1-04	Mercado de Modelo de Frutas	0.029
5	1-05	Mercado de Modelo de Frutas	0.016
6	2-01	Mercado Mayorista Numeral 2 de Frutas	0.018
7	2-02	Mercado Mayorista Numeral 2 de Frutas	0.019
8	2-03	Mercado Mayorista Numeral 2 de Frutas	0.024
9	2-04	Mercado Mayorista Numeral 2 de Frutas	0.055
10	2-05	Mercado Mayorista Numeral 2 de Frutas	0.024
11	2-06	Mercado Mayorista Numeral 2 de Frutas	0.070
12	2-07	Mercado Mayorista Numeral 2 de Frutas	0.017
13	2-08	Mercado Mayorista Numeral 2 de Frutas	0.024
14	2-09	Mercado Mayorista Numeral 2 de Frutas	0.006
15	2-10	Mercado Mayorista Numeral 2 de Frutas	0.012
16	2-11	Mercado Mayorista Numeral 2 de Frutas	0.014
17	2-12	Mercado Mayorista Numeral 2 de Frutas	0.007
18	2-13	Mercado Mayorista Numeral 2 de Frutas	0.014
19	3-01	Gran Mercado Mayorista de Santa Anita	0.013
20	3-02	Gran Mercado Mayorista de Santa Anita	0.025
21	3-03	Gran Mercado Mayorista de Santa Anita	0.030
22	3-04	Gran Mercado Mayorista de Santa Anita	0.023
23	3-05	Gran Mercado Mayorista de Santa Anita	0.016
24	3-06	Gran Mercado Mayorista de Santa Anita	0.011
25	3-07	Gran Mercado Mayorista de Santa Anita	0.055
26	3-08	Gran Mercado Mayorista de Santa Anita	0.027
27	3-09	Gran Mercado Mayorista de Santa Anita	0.020
28	3-10	Gran Mercado Mayorista de Santa Anita	0.043
29	3-11	Gran Mercado Mayorista de Santa Anita	0.023
30	3-12	Gran Mercado Mayorista de Santa Anita	0.033

Fuente: Elaboración propia

Se evidencia en la tabla 14 los niveles del cadmio (mg/kg) de 30 muestras de *Fragaria ananassa* (Fresas) expandidas en tres principales mercados mayoristas de Lima Metropolitana.

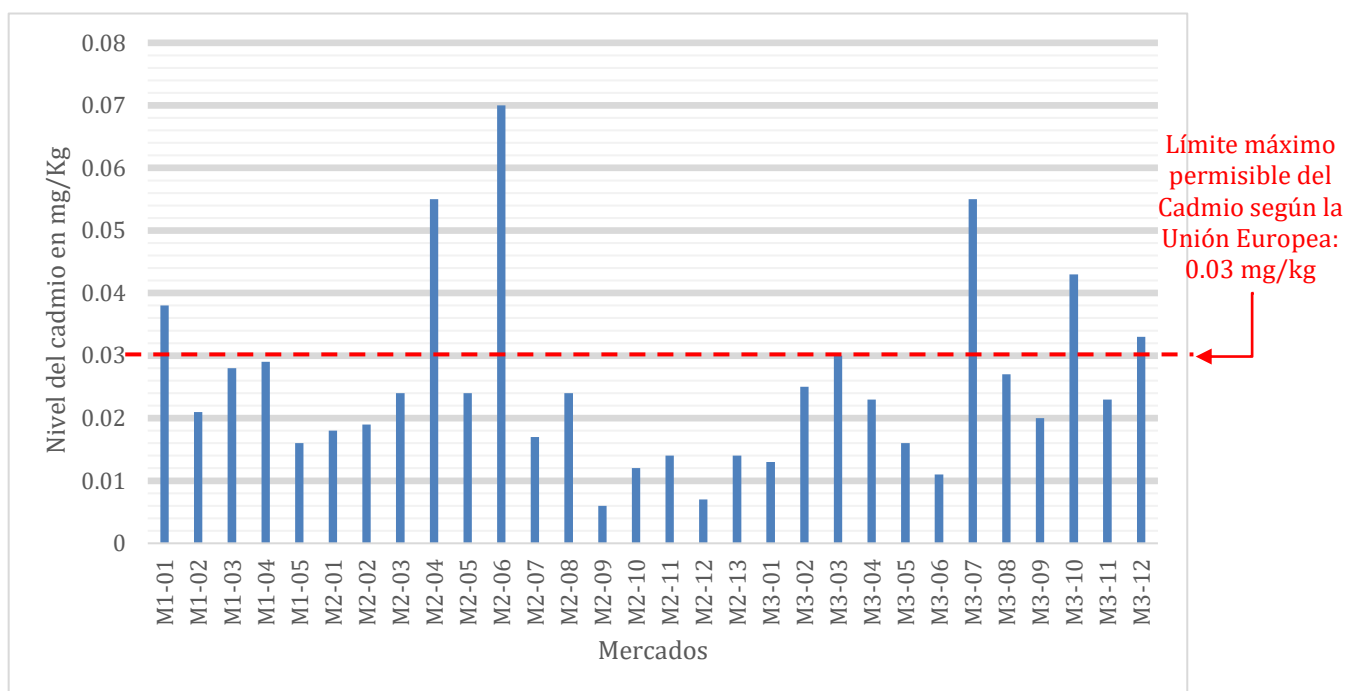


Figura 14. Comparación de los niveles de cadmio en fresas con los LMP dados por la UE.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 14 se comparan las concentraciones de cadmio (mg/kg) de las 30 muestras de *Fragaria ananassa* (Fresas) expandidas en tres importantes mercados mayoristas de Lima, con el LMP del cadmio según la UE (0.03 mg/kg).

Tabla 15. Porcentajes de las concentraciones de cadmio (mg/kg) en fresas que superan lo establecido por la UE.

Mercado Mayorista de Frutas	N	Cantidad que supera LMP	Porcentaje que supera LMP
Mercado Modelo de Frutas	5	1	20.00%
Mercado Mayorista N° 2 de Frutas	13	2	15.38%
Gran Mercado Mayorista de Santa Anita	12	3	25.00%
Total	30	6	20.00%

Fuente: Elaboración propia

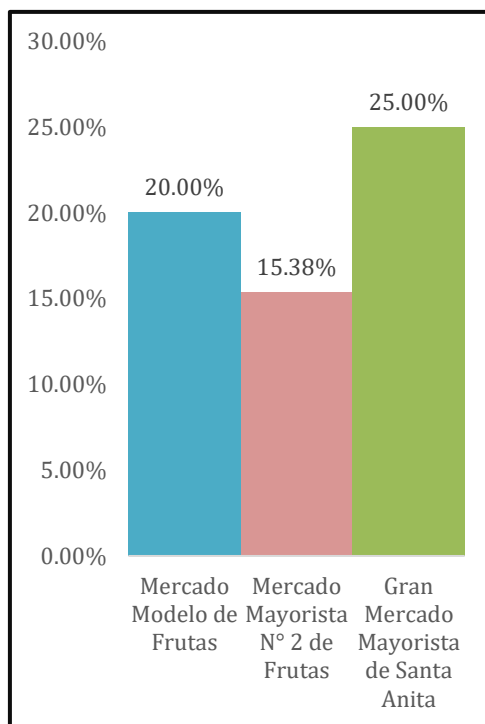


Figura 15. Porcentajes de los niveles de cadmio que superan lo establecido por la UE.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la tabla 15, detalla las cantidades y los porcentajes del nivel de cadmio de los 3 mercados mayoristas de Lima que superan el LMP del nivel de cadmio establecido por la UE; y de la figura 15 se visualiza los porcentajes del nivel de cadmio de los 3 mercados mayoristas de Lima que superan el LMP del nivel de cadmio establecido por la UE.

Tabla 16. Media de los niveles de cadmio en fresas según el mercado mayorista de Lima.

Mercado Mayorista de Frutas	N	Media	Desv. Est.	Mínimo	Máximo
Gran Mercado Mayorista de Santa Anita	12	0.027	0.013	0.011	0.055
Mercado Modelo de Frutas	5	0.026	0.008	0.016	0.038
Mercado Mayorista N° 2 de Frutas	13	0.023	0.019	0.006	0.070
Total	30	0.025	0.014	0.006	0.055

Fuente: De elaboración propia

De la tabla 16 se aprecia que el promedio del nivel de cadmio en fresas es 0.025 mg/kg, del cual la media del cadmio del Gran Mercado Mayorista de Santa Anita es 0.027 mg/kg, el Mercado Modelo de frutas es 0.026 mg/kg y el Mercado Mayorista N° 2 de Frutas es 0.023 mg/kg.

Tabla 17. Comparación de la mediana de los niveles de cadmio en fresas con los LMP dados por UE.

Mercados Mayorista de Frutas	N	Mediana	p valor
Gran Mercado Mayorista de Santa Anita	12	0.024	0.113
Mercado Modelo de Frutas	5	0.028	0.187
Mercado Mayorista N° 2 de Frutas	13	0.018	0.011
Total	30	0.023	0.001

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia en la tabla 17 la mediana de las concentraciones del metal cadmio en fresas (0.023 mg/kg) es menor significativamente al LMP dado por la UE (0.03 mg/Kg).

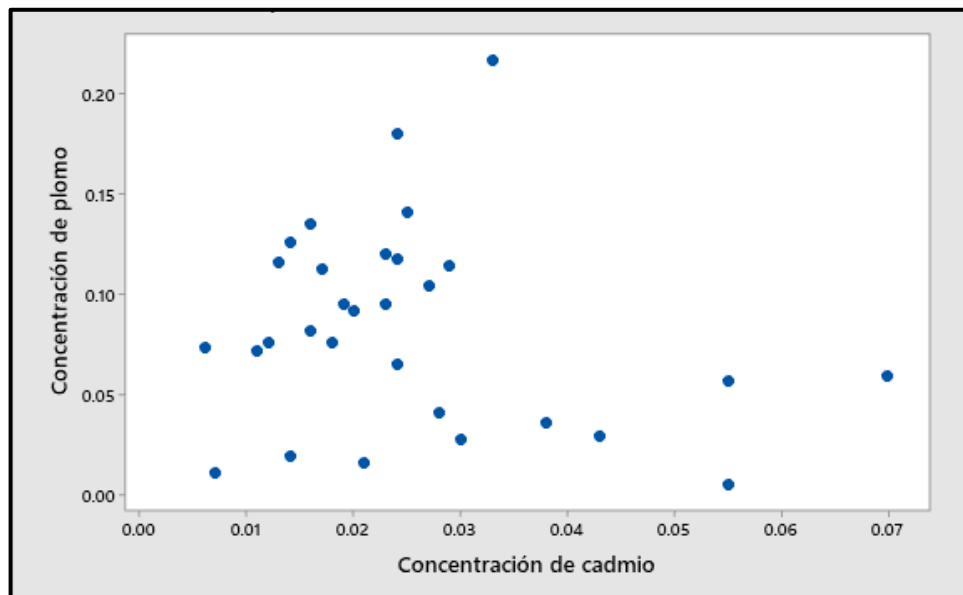


Figura 16. Correlación de Spearman entre las concentraciones de plomo y cadmio en fresas.

Leyenda

Rho de Spearman: - 0.124

Valor p: 0.513

Fuente: Elaboración propia

En la figura 16 se observa la correlación de Spearman, siendo el valor de Rho de Spearman - 0.124, y su valor de $p > 0.05$.

VI. DISCUSIÓN

Considerando que la ruta suelo - fruto es la más común y específica por la que suelen introducirse los metales pesados a la cadena alimentaria, los datos obtenidos nos permitieron dar a conocer la inocuidad alimentaria de las fresas que se expenden en mercados mayoristas de Lima según los parámetros establecidos por una entidad internacional como es la Unión Europea.

De acuerdo con la tabla 12, se obtuvo un nivel promedio del plomo en fresas que da 0.083 mg/kg, del cual, la media de plomo del Mercado Modelo de Frutas fue 0.068 mg/Kg; del Mercado Mayorista N° 2 de Frutas, 0.082 mg/Kg y del Gran Mercado Mayorista de Santa Anita, 0.092 mg/Kg; estos valores contrastan con Calderón et al.¹⁸ quienes evidenciaron una media de plomo en fresas de 0.2 mg/kg en el Mercado Modelo de Piura, dando a conocer que nuestros valores se encuentran por debajo del LMP de plomo dado por la Unión Europea (0.10 mg/kg). En la tabla 11 y figura 13 se evidencia que la cantidad de muestras de fresas que superan el LMP de Pb, fueron 11 muestras que representa el 36.67% de un total de 30 muestras. De igual forma, la cantidad de muestras que superaron los límites máximos permisibles por Mercado fueron: Mercado Modelo de Frutas, 2 de un total de 5 muestras que representa el 40.00%; Mercado Mayorista N° 2 de Frutas, 4 de un total de 13 muestras que representa el 30.77% y el Gran Mercado Mayorista de Santa Anita, 5 de un total de 12 muestras que representa el 41.67%, por lo que se deduce que más del 50% del total de muestras obtuvo concentraciones por debajo del límite máximo permisible de plomo. Adicionalmente, se observa en la tabla 13 que las medias de los niveles de plomo en fresas de cada mercado mayorista son menores al límite máximo permisible, un caso contrario a lo que describen Dotor et al.¹⁵ reportando concentraciones por encima del límite máximo permisible de plomo en fresas recién cosechadas.

En relación con lo anterior, se puede afirmar que las concentraciones de plomo obtenidas en el presente estudio coinciden con la investigación de Cielinski et al.¹⁶⁷ en donde se menciona que las raíces de fresa tuvieron la concentración más alta de plomo entre todas las partes de la planta analizadas, por lo que la cuantificación de plomo en los frutos de fresa mostró una concentración muy baja independientemente del contenido de plomo en suelo. Del mismo modo, Mc. Bride et al.⁴³ señalan que los frutos vegetales tales como tomate, pimiento, pepino y los frutos no vegetales como uvas y frambuesas presentaron las concentraciones de plomo más bajas a diferencia de las hojas con concentraciones más altas, seguidas de las raíces, lo que incide en una débil tendencia de bioacumulación de plomo en frutos. En otro estudio, Attanayake et al.¹⁶⁸ demostraron que la adición de compost al suelo contaminado con plomo (186 – 388 mg/kg) redujo significativamente la concentración de plomo, un 20% más bajas en zanahorias (raíz) y un 59% menos en acelgas (hoja) en comparación con las acelgas y zanahorias que no recibieron abono; sin embargo, la concentración de plomo en los tomates (fruto) fue bajo (0.07 mg/kg), lo que respalda una vez más el hecho que la bioacumulación de plomo es mayor en raíces y hojas seguidas de los frutos.

En cuanto a los niveles de cadmio, según la tabla 16 se determinó el nivel medio en fresas resultando 0.025 mg/kg, del cual, la media de Cd del Mercado Modelo de Frutas fue 0.026 mg/Kg; del Mercado Mayorista N° 2 de Frutas, 0.023 mg/Kg y del Gran Mercado Mayorista de Santa Anita, 0.027 mg/Kg. Algo similar ocurre con Cielinski et al.¹⁶⁹ quienes informaron que la concentración de cadmio en frutos de fresa de plantas cultivadas en suelo no contaminado y un pH de 5.1 no excedió el límite máximo permisible al igual que nuestros valores de cadmio, lo que nos permite deducir que las fresas del presente estudio podrían ser cosechadas de áreas de cultivo de baja contaminación por este metal. En la tabla 15 y figura 15 se evidencia que la cantidad de muestras de fresas que sobrepasa el LMP de Cd dado por la UE (0.03 mg/kg), fueron 6 muestras que representa el 20.00% de un total de 30 muestras, de igual manera, la cantidad de muestras que sobrepasa los límites máximos permisibles por Mercado fueron: Mercado Modelo de Frutas, 1 de un total de 5 muestras que representa el 20.00%; Mercado Mayorista N° 2 de Frutas, 2 del total de 13 muestras que representa el 15.38% y el Gran Mercado Mayorista de

Santa Anita, 3 del total de 12 muestras que representa el 25.00%, es así que se demuestra que más del 50% del total de muestras obtuvo concentraciones debajo del límite máximo permisible de cadmio. Además, en la tabla 17 se evidencia que las medianas de las concentraciones de cadmio en fresas en cada uno de los tres mercados mayoristas de Lima no exceden significativamente el LMP (0.03 mg/kg), tal como informan Calderón et al.¹⁸ que reportan las concentraciones de Cd por debajo del LMP en la mayoría de las muestras de frutas analizadas, encontrándose las fresas entre ellas.

Se sabe que las plantas absorben principalmente cadmio de la superficie de la tierra por medio de sus rizomas, esta absorción es afectada por diversas causas, particularmente el potencial de hidrogeno de la superficie y el contenido de sustancias orgánicas.¹⁷⁰ De modo que, la concentración de cadmio en las plantas está inversamente relacionada con la cantidad de materia orgánica en el suelo, es decir, una gran cantidad de materia orgánica en el suelo limita la disponibilidad de cadmio para las plantas debido a que los compuestos orgánicos forman complejos que retienen el metal con mayor firmeza. A su vez, Hakala et al.¹⁷¹ refirieron que el aumento del pH del suelo suprime de manera significativa la acumulación de cadmio en los frutos de las plantas de fresa, es así que estos factores podrían explicar las concentraciones relativamente bajas de cadmio reportadas en el presente estudio.

En la figura 16 se evidencia que no existe relación entre los niveles de Pb y Cd en fresas, esta información coincide con lo reportado por LLallahui F. & Quispe L.¹⁷² que no encontraron correlación entre las concentraciones de Pb y Cd en condimentos en polvo (pimienta, ají panca, comino y ají paprika). De modo similar, McBride MB. et al.⁴ encontraron que las concentraciones de cadmio en verduras fueron bastante bajas comparado con las concentraciones de plomo. Esta falta de correlación se puede atribuir a varios factores, entre los que se incluye las características fisicoquímicas de la superficie, la disposición en muestras biológicas de metales pesados y patrones de crecimiento de las fresas.

Si bien los resultados obtenidos nos muestran que la concentración media de plomo (0.083 mg/kg) y la concentración media de cadmio (0.025 mg/kg) en fresas no sobrepasan los LMP recomendado por la UE cabe precisar que ambos datos reflejan valores cercanos a los LMP, lo que debería representar un signo de alarma a nuestras autoridades quienes son los encargados de velar por la salud de la población. A su vez, instarlos a tomar acciones que permitan establecer límites máximos permisibles en nuestro país principalmente en alimentos de consumo masivo, ya que hasta el momento no contamos con dicha normativa que es necesaria para garantizar la seguridad alimentaria de la población.

VII. CONCLUSIONES

- El nivel medio de plomo de 30 muestras de fresas expandidas en tres mercados mayoristas fue 0.083 mg/kg; así mismo, la media de plomo en el Mercado Modelo de Frutas fue 0.068 mg/Kg; en el Mercado Mayorista N° 2 de Frutas, 0.082 mg/Kg y en el Gran Mercado mayorista de Santa Anita, 0.092 mg/Kg.
- La cantidad de muestras de fresas que sobrepasa el LMP de Pb dado por la UE (0.10 mg/kg) fueron 11 (36.67%) de un total de 30 muestras; de igual modo, la cantidad de muestras que superaron los límites máximos permisibles por Mercado fueron: Mercado Modelo de Frutas, 2 muestras (40.00%); Mercado Mayorista N° 2 de Frutas, 4 muestras (30.77%) y el Gran Mercado Mayorista de Santa Anita, 5 muestras (41.67%).
- El nivel medio de cadmio en 30 muestras de fresas vendidas de tres mercados mayoristas fue 0.025 mg/kg; así mismo, la media de cadmio en el Mercado Modelo de Frutas fue 0.026 mg/Kg; en el Mercado Mayorista N° 2 de Frutas, 0.023 mg/Kg y en el Gran Mercado Mayorista de Santa Anita, 0.027 mg/Kg.
- La cantidad de muestras de fresas que sobrepasa el LMP de Cd dado por la UE (0.03 mg/kg) fueron 6 (20.00%) de un total de 30 muestras; de igual manera, la cantidad de muestras que superaron los límites máximos permisibles por Mercado fueron: Mercado Modelo de Frutas, 1 muestra (20.00%); Mercado Mayorista N° 2 de Frutas, 2 muestras (15.38%) y el Gran Mercado Mayorista de Santa Anita, 3 muestras (25.00%).
- Con un Rho de Spearman de -0.124 ($p > 0.05$) se estableció que no hay relación de concentración de Pb y Cd en fresas expandidas de los tres mercados mayoristas de Lima Metropolitana: Mercado Mayorista N° 2 de Frutas, Mercado Modelo de Frutas y Gran Mercado Mayorista de Santa Anita.

VIII. RECOMENDACIONES

- Concientizar a las autoridades competentes, instituciones de investigación y empresas privadas a establecer límites máximos permisibles en fresas y otros alimentos de consumo masivo a nivel nacional, para asegurar la inocuidad alimentaria a nivel del territorio peruano.

- Fomentar la investigación acerca del origen de polución de Pb y Cd de las zonas de cultivo de fresas, la evaluación de los niveles de Pb y Cd en fresas provenientes de diferentes departamentos del Perú, con el fin de monitorear las concentraciones de estos metales; y establecer medidas que mitiguen el ingreso de estos metales a la cadena alimentaria.

- Incentivar los foros, charlas y mesas redondas con el fin de dar a conocer sobre los efectos nocivos a la población que podría provocar la ingesta frecuente de fresas que contienen plomo y cadmio a largo plazo, así mismo generar concientización en materia de inocuidad alimentaria.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Reyes YC, Vergara I, Torres OE, Díaz M, González EE. Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Rev Ing Investig y Desarro*. 2016;16(2):66–77.
2. Vélez JA. Los biosólidos: ¿una solución o un problema? *Prod Limpia*. [Internet]. 2007 [citado 28 de febrero de 2021]; 2:57–71. Disponible en: http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/532/1/PL_V2N2_57-71_biosolidos.pdf
3. Vicente JJ. Biodisponibilidad de metales pesados en dos ecosistemas acuáticos de la Costa Suratlántica Andaluza afectados por contaminación difusa. [Tesis de doctorado]. España: Universidad de Cadiz; 2010. Disponible en: https://rodin.uca.es/bitstream/handle/10498/15776/Tes_2010_06.pdf?sequence=1&isAllowed=y
4. Chen Y, Hu W, Huang B, Weindorf DC, Rajan N, Liu X, et al. Accumulation and health risk of heavy metals in vegetables from harmless and organic vegetable production systems of China. *Ecotoxicol Environ Saf* [Internet]. 2013 [citado 28 de febrero de 2021]; 98:324–30. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.09.037>
5. Singh A, Sharma RK, Agrawal M, Marshall FM. Risk assessment of heavy metal toxicity. *Trop Ecol* [Internet]. 2010 [citado 18 de marzo de 2021]; 51:375–87. Disponible en: [http://www.environmentportal.in/files/Risk assessment of heavy metal toxicity.pdf](http://www.environmentportal.in/files/Risk%20assessment%20of%20heavy%20metal%20toxicity.pdf)
6. Norma general para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos. CXS 193-1995. Publicado en el Codex Alimentarius. (Adoptada en 1995, enmendada en 2019). Disponible en: https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B193-1995%252FCXS_193s.pdf

7. Reglamento de la Comisión por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios. Reglamento (CE) N° 1881/2006. Publicado en el Diario Oficial de la Unión Europea, (19 de diciembre de 2006). Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2006/364/L00005-00024.pdf>
8. López L, García M, Madueño F, Bautista N, Marín M, Olórtégui D. Metales pesados en tres variedades de *Solanum tuberosum* L. (papa) expendidos en el mercado mayorista de Santa Anita (Lima - Perú). *Ciencia e investigación* [Internet]. 2020 [citado el 26 de marzo de 2021]; 23(1):25-30. Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/farma/article/view/18719/15790>.
9. Reglamento de Inocuidad Agroalimentaria. Publicado en el diario oficial El Peruano. Decreto Supremo N° 004-2011-AG, (27 de abril de 2011).
10. Prieto M. Determinación de metales pesados en hortalizas distribuidas en plazas de mercado, centros de abasto e hipermercados de la ciudad de Bogotá D.C. [Tesis de maestría]. Bogotá: Universidad para la Cooperación Internacional; 2011. Disponible en: <https://biblioteca.uci.ac.cr/Tesis/PFGMIA99.pdf>
11. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. Perú vendió al mundo más de US\$ 900 millones en productos agrícolas entre enero y febrero. Lima. [Internet]. 2017 [citado el 26 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://www.midagri.gob.pe/portal/noticias-antteriores/notas-2017/19033-peru-vendio-al-mundo-mas-de-us-900-millones-en-productos-agricolas-entre-enero-y-febrero>
12. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. Sistema de Abastecimiento y Precios. [Internet]. 2010 [citado el 26 de marzo de 2021]. Disponible en: <http://sistemas.minagri.gob.pe/sisap/portal/>
13. Kessel A. Mejora genética de la fresa (*Fragaria ananassa* Duch.), a través de métodos biotecnológicos. *Cultrop* [Internet]. 2012 [citado el 26 de marzo de 2021]; 33(3), 34-41. Disponible en:

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362012000300005&lng=es&tlng=es

14. Hussein L, Ali S. Accumulation detection of some heavy metals in some types of fruits in the local market of Al-Diwaniyah city, Iraq. *Rasayan J Chem* [Internet]. 2017 [citado el 26 de marzo de 2021];10(2):339–43. Disponible en: <http://www.rasayanjournal.co.in>
15. Dotor GI, Zuñiga A, Cruz RG, Díaz M, Raya A. Cuantificación de metales pesados en el cultivo de la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch. Var. festival) en Tenancingo y Villa Guerrero. *Agro Product*. 2017; 10(10):29–33.
16. Escobar S. Determinación de la presencia de plomo y cadmio en frutilla (*Fragaria ananassa*) y tomate (*Solanum lycopersicum*) en el Quinche. [Tesis de Título Profesional]. Quito: Universidad Central del Ecuador. 2016. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/10068/1/T-UC-0004-81.pdf>
17. Avellaneda K, Caro J. Determinación de la concentración y cinética del plomo en un cultivo de fresa cercano al embalse de muña en el municipio de Sibate, Cundinamarca. [Tesis de Título Profesional]. Bogotá: Universidad Santo Tomás. 2015. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/630/2015kellyavellaneda.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
18. Calderon E, Concha R. Evaluación de las concentraciones de metales pesados para determinar la calidad de frutas de consumo masivo en la ciudad de Piura. Universidad Nacional de Piura. 2016.
19. Husaini A. M., Neri D. Strawberry Growth, Development and Diseases. [en línea]. USA: CAB; 2016. [citado el 15 de mayo de 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/309735344_Strawberry_Growth_Development_and_Diseases
20. Clavijo R, Beltrán A, LLauger RE, Rodríguez A, Farrés E, García ME, et al. Apuntes sobre el cultivo de la fresa (*Fragaria ananassa* Duch.). *CitriFrut*. 2010; 27(2): 67-71.

21. Parts of plant. Morphology of garden strawberry plant with roots [Internet]. iStock. [citado el 30 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://www.istockphoto.com/es/vector/partes-de-la-planta-morfolog%C3%ADa-de-la-planta-fresa-del-jard%C3%ADn-con-ra%C3%ADces-flores-gm989916640-268335898>
22. Valero T, Rodríguez P, Ruiz E, Ávila J, Vareta R. La alimentación española: Características nutricionales de los principales alimentos de nuestra dieta [Internet]. 2° Ed. España: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino; 2018 [citado el 16 mayo de 2021]. Disponible en: <http://www.fen.org.es/storage/app/media/imgPublicaciones/2018/libro-la-alimentacion-espanola.pdf>
23. Lorca MP, Perfil VT mi. Fresas: decenas de frutos en una fruta [Internet]. Sobreestoyaquello.com. [citado el 30 de mayo de 2023]. Disponible en: <http://www.sobreestoyaquello.com/2020/09/fresas-decenas-de-frutos-en-una-fruta.html>
24. Ferriol X. Propiedades nutritivas y otras curiosidades de la fresa. CitriFrut. 2010 [citado el 16 mayo de 2021]; 27 (2):72-74.
25. Ministerio de agricultura. Estudio de la fresa en el Perú y el Mundo [Internet]. 2008 [citado el 18 mayo de 2021]. Disponible en: http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/herramientas/boletines/estudio_fresa.pdf.
26. Alvarado V. Efecto de dos fertilizantes foliares en el rendimiento y calidad de *Fragaria vesca* L. VAR. aromas en Quirihuac. [Tesis para optar por el título de ingeniero agrónomo]. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo; 2016.
27. Meyers K, Watkins C, Pritts M, Liu R. Antioxidant and antiproliferative activities of strawberries [Internet]. *J. Agric. Food Chem.* 2003 [citado el 20 mayo de 2021]; 51:6887–6892. Disponible en: <https://pubs.acs.org/>
28. Restrepo A, Cortés M, Rojano B. Determinación de la vida útil de fresa (*Fragaria ananassa Duch.*) fortificada con vitamina E. *Dyna* [Internet]. 2009 [citado el 20 mayo de 2021]; 76(159):163-175. Disponible en: <redalyc.org/pdf/496/49611945018.pdf>.
29. Fortis-Hernández M, B, Meza-Velázquez J, Martínez-Rodríguez F. Capacidad antioxidante de fresa (*fragaria vesca*) hidropónica producida bajo

- diferente aportación de potasio-nitrógeno. [Internet]. 2016 [citado el 25 mayo de 2021]; 1(2):307–12. Disponible en: <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/2/3/54.pdf>
30. Carvajal L, Yahia E, Cartagena R, Pelaéz C, Gaviria C, Rojano B. Capacidad antioxidante de dos variedades de *Fragaria x ananassa* (Weston) Duchesne (fresa) sometidas a variaciones en la nutrición vegetal [Internet]. *Rev. Cub. Plant. Med.* 2012 [citado el 25 mayo de 2021]; 17: 37-53. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/pla/v17n1/pla05112.pdf>
31. Castañeda JP. Catálogo de plantas utilizadas en agricultura urbana en la ciudad de Bogotá D.C. Disponible en: <https://www.jbb.gov.co/documentos/tecnica/2019/catalog-plantas-usadas-agricultura-urb.pdf>
32. Nunes M. Caracterización y procesado de kiwi y fresa cultivados por diferentes sistemas. [Tesis de doctorado]. España: Universidad Santiago de Compostela; 2007. Disponible en https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/2317/9788497508643_content.pdf?sequence=1&isAllowed=y
33. Madrigal V. Calidad de frutos de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) cv. San Andreas cultivadas bajo diferentes ambientes. [Tesis de Título Profesional]. México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 2017. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/42789/K65061%20Madrigal%20Hern%C3%A1ndez%2C%20V%C3%ADctor%20Emiliano.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
34. INEI. Directorio Nacional de mercados de abastos 2016 [Internet]. 2017 [citado el 25 de mayo de 2021]. Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1447/libro.pdf
35. Arieta R, Pilares D, Potilla C, Ríos K. Plan de negocio para la implementación de un nuevo canal de distribución para el mercado mayorista N° 2 de frutas. [Tesis para optar grado de maestría]. Perú: Universidad Esan; 2018.
36. Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. Áncash: Vigilancia fitosanitaria de plagas cuarentenarias en cultivo de fresa. 2017. Disponible

en: <http://www.senasa.gob.pe/senasacontigo/senasa-ancash-vigilancia-fitosanitaria-de-plagas-cuarentenarias-en-cultivo-de-fresa>

37. Albert L. Introducción a la Toxicología Ambiental. México: ECO/OPS; 1997.
38. Burger M, Pose RD. Plomo Salud y Ambiente – Experiencia en Uruguay [Internet]. Uruguay: Universidad de la República Montevideo, OPS/OMS; 2010 [citado el 10 de junio de 2021]. Disponible en: https://www.paho.org/uru/index.php?option=com_docman&view=download&category_slug=publicaciones-salud-y-ambiente&alias=31-plomo-salud-y-ambiente-experiencia-en-uruguay&Itemid=307
39. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profile for Lead [Internet]. 3^{ra} edición. Atlanta: ATSDR; 2019 [citado el 10 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp13.pdf>
40. Thornton I, Rautiu R, Brush S. LEAD: The facts. Primera edición. Inglaterra: Ian Allan Printing Ltd.; 2001.
41. Nordberg G. Metales: Propiedades Químicas y Toxicidad. En: Langard S, Sunderman FW, Mager SJ, Osinsky D, Markkanen P, Dinman DB, et al. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Cuarta edición. España: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales; 2001; 1 – 76.
42. Boldyrev M. Lead: Properties, history, and applications. WikiJournal Sci [Internet]. 2018 [citado el 10 de junio de 2021];1(2):7. Disponible en: https://upload.wikimedia.org/wikiversity/en/e/e6/Lead_properties%2C_history%2C_and_applications.pdf
43. McBride MB, Shayler HA, Spliethoff HM, Mitchell RG, Marquez-Bravo LG, Ferenz GS, et al. Concentrations of lead, cadmium and barium in urban garden-grown vegetables: The impact of soil variables. *Environ Pollut.* 2014; 194: 254–261.
44. World Health Organization. Health risks of heavy metals from long-range transboundary air pollution. Copenhagen, Denmark: WHO. Regional Office for Europe. 2007.
45. Rodríguez N, McLaughlin M, Pennock D. La contaminación del suelo: una realidad oculta. Roma: FAO; 2019.
46. United Nations Environment Program. Final Review Information on Lead. UNEP, Chemical Branch, DTE. 2010.

47. Demayo A, Taylor M, Taylor K, et al. Toxic effects of lead and lead compounds on human health, aquatic life, wildlife plants, and livestock. *Critical Reviews in Environmental Control*. 2009; 12(4):257-305.
48. Salas C, Garduño M, Mendiola P, et al. Fuentes de contaminación por plomo en alimentos, efectos en la salud y estrategias de prevención. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 2019; 20(1).
49. Wani AL, Ara A, Usmani JA. Lead toxicity: A review. *Interdiscip Toxicol*. 2015; 8(2):55–64.
50. Rădulescu A, Lundgren S. A pharmacokinetic model of lead absorption and calcium competitive dynamics. *Sci Rep*. 2019;9(1):1–27.
51. Rodríguez A, Cuéllar L. Efectos nocivos del plomo para la salud del hombre. *Rev Cuba Investig Biomédicas*. 2016;35(3):251–71.
52. Winecker RE, Roper-Miller JD, Broussard LA, Hammett-Stabler CA. The Toxicology of Heavy Metals: Getting the Lead Out. *Lab Med*. 2002; 33(12):934–947.
53. Valdivia M. Intoxicación por plomo. *Rev Soc Per Med Inter*. 2005; 18(1):22-27.
54. Ramírez A. El cuadro clínico de la intoxicación ocupacional por plomo. *An la Fac Med*. 2005; 66(1):57-70.
55. Azcona MI, Ramírez y Ayala R, Vicente G. Efectos tóxicos del plomo. *Rev Esp Med Quir*. 2015; 20:72-77.
56. Rubio C, Gutiérrez AJ, Martín-Izquierdo RE, Revert C, Lozano G, Hardisson A. El plomo como contaminante alimentario. *Rev Toxicol*. 2004; 21:72–80.
57. Alvarado JC. Apuntes de Toxicología. 1^{ra} edición. Perú: Apuntes Médicos del Perú E.I.R.L.; 2011.
58. Centers for Disease Control and Prevention. Case Studies in Environmental Medicine: Lead Toxicity. U.S. Department of Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substance and Disease Registry. 1996 [citado el 10 de junio de 2021]. Disponible en: <https://wonder.cdc.gov/wonder/prevguid/p0000017/p0000017.asp>.
59. MINSA. Guía técnica: Guía de práctica clínica para el manejo de pacientes con intoxicación por plomo. Lima, Perú. 2007 [citado el 15 de junio de 2021]. Disponible en: http://bvs.minsa.gob.pe/local/dgsp/264_dgsp238.pdf.

60. Bellinger DC. Muy bajas exposiciones al plomo y neurodesarrollo de los niños. *Curr Opin Pediatr* [Internet]. 2008 [citado el 15 de junio de 2021]; 20 (2): 172-7. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18332714>
61. Feng C, Liu S, Zhou F. Oxidative stress in the neurodegenerative brain following lifetime exposure to lead in rats: Changes in lifespan profiles. *Toxicology*. 2019; 41: 101-109.
62. Singha G, Singha V, Wang Z, Voisin G, Lefebvre F, Navenota J. Effects of developmental lead exposure on the hippocampal methylome: Influences of sex and timing and level of exposure. *Toxicology Letters*. 2018; 290: 63-72.
63. Dou C, Zhang J. Effects of lead on neurogenesis during zebrafish embryonic brain development. *Journal of Hazardous Materials*. 2011; 194: 277-282.
64. Taghi M, Muñoz-Fambuena I, Cauli O. Cognitive impairment associated with chronic lead exposure in adults. *Neurology, Psychiatry and Brain Research*. 2018; 30: 5–8.
65. Zhou C, Gao Z, Wang J, Wu M, Hu S, Chen F. Lead exposure induces Alzheimers's disease (AD)-like pathology and disturbs cholesterol metabolism in the young rat brain. *Toxicology Letters*. 2018; 296: 173-183.
66. Baranowska-Bosiack I, Falkowska A, Gutowska Z, et al. Glycogen metabolism in brain and neurons – astrocytes metabolic cooperation can be altered by pre- and neonatal lead (Pb) exposure. *Toxicology*. 2017; 390: 146-158.
67. Shukla V, Shukla P, Tiwari A. Lead poisoning. *Indian Journal of Medical Specialities*. 2018; 9(3):146-149.
68. Gurer-Orhan H, Sabir H, Özgüneş H. Correlation between clinical indicators of lead poisoning and oxidative stress parameters in controls and lead-exposed workers. *Toxicología*. 2004; 195 (2): 147-154.
69. Park K. Dietary patterns, bone lead and incident coronary heart disease among middle-aged to elderly men. *Investigation Ambiental*. 2019, 168: 222-229
70. Poreba R, Paweł G, Poreba M, Andrzejak R. Environmental and occupational exposure to lead as a potential risk factor for cardiovascular disease. *Environ Toxicol Pharmacol*. 2011; 31(2): 267-77.

71. Scimeca M, Feola M, Romano L, et al. Heavy metals accumulation affects bone microarchitecture in osteoporotic patients. *Environ Toxicol.* 2017; 32(4):1333-1342.
72. Lin Y, Huang L, Xu J, Specht A, Yan C, Geng H. Blood lead, bone lead and child attention-deficit-hyperactivity-disorder-like behavior. *Science of The Total Environment.* 2019; 659: 161-167.
73. Álvarez-Lloret P, Lee C, Conti M, et al. Effects of chronic lead exposure on bone mineral properties in femurs of growing rats. *Toxicology.* 2017; 377: 64-72
74. Harari F, Sallsten G, Christensson A, et al. Blood Lead Levels and Decreased Kidney Function in a Population-Based Cohort. *Am. J Kidney Dis.* 2018; 72(3): 381-389.
75. Tsai T, Kuo C, Pan W, et al. The decline in kidney function with chromium exposure is exacerbated with co-exposure to lead and cadmium. *Kidney International.* 2017; 92(3):710-720.
76. Boskabady M, Marefati N, Farkhondeh T, et al. The effect of environmental lead exposure on human health and the contribution of inflammatory mechanisms, a review. *Environment International* [Internet]. 2018 [citado el 25 de junio de 2021]; 120: 404-420. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.08.013>.
77. Li Z, Liu X, Wang L, et al. The role of PGC-1 α and MRP1 in lead-induced mitochondrial toxicity in testicular Sertoli cells. *Toxicology* [Internet]. 2016 [citado el 14 de julio de 2021]; 355–356: 39-48. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tox.2016.05.016>.
78. Mancusso F, Arato I, Lilli C, et al. Acute effects of lead on porcine neonatal Sertoli cells in vitro. *Toxicology in Vitro* [Internet]. 2018 [citado el 14 de julio de 2021]; 48:45-52. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2017.12.013>
79. Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer. Monografías en la evaluación de riesgos carcinogénicos a humanos [Internet]. 2006 [citado el 14 de julio de 2021]. Disponible en: https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/09/List_of_Classifications.pdf
80. Uchewa O, Ezugworie J. Countering the effects of lead as an environmental toxicant on the microanatomy of female reproductive system of adult Wistar

- rats using aqueous extract of *Ficus vogelii*. *J Trace. Elem. Med. Biol* [Internet]. 2019 [citado el 14 de julio de 2021]; (52): 192-198. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.12.016>
81. Ping-Chi H, Leon Y. Antioxidant nutrients and lead toxicity. *Toxicology* [Internet]. 2002 [citado el 14 de julio de 2021]; 180(1): 33-44. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0300-483X\(02\)00380-3](https://doi.org/10.1016/S0300-483X(02)00380-3).
 82. International Agency for research on cancer. Inorganic and Organic. Lead Compounds [Internet]. 2006 [citado el 14 de julio de 2021]. Disponible en: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Inorganic-And-Organic-Lead-Compounds-2006>
 83. Sharma H, Rawal N, Mathew BB. The Characteristics, Toxicity and Effects of Cadmium. *Int J Nanotechnol Nanosci*. 2015; 3:1–9.
 84. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profile for Cadmium. Atlanta: ATSDR; 2012.
 85. Nordic Council of Ministers. Cadmium Review. COWI A/S. 2003.
 86. McGeer JC, Niyogi S, Scott Smith D. Cadmium. *Homeost Toxicol Non-Essential Met*. 2011; 31:125–84.
 87. Pan J, Plant JA, Voulvoulis N, Oates CJ, Ihlenfeld C. Cadmium levels in Europe: implications for human health. *Environ Geochem Health*. 2010; 32:1–12.
 88. Horn JD. Cadmium, Physical and Chemical Properties. En: Kretsinger RH, Uversky VN, Permyakov EA, editores. *Encyclopedia of Metalloproteins*. New York: Springer; 2013. p. 383–384.
 89. Friberg L, Elinder CG, Kjellström T, Nordberg G. Cadmium and Health: A Toxicological and Epidemiological Appraisal. 1^{ra} Edición. Estados Unidos: CRC Press. 2019.
 90. International Agency for Research on Cancer. A review of human carcinogens: Arsenic, metals, fibres and dusts. Francia: WHO Press; 2012.
 91. Goering RA, Waalkes MP, Klaassen CD. Toxicology of Cadmium. En: Goyer RA, Cherian MG, editors. *Toxicology of Metals*. New York: Springer; 1995. p. 189-214.

92. Panagapko D. Mineral and Metal Commodity Reviews: Cadmium. *Natural Resources*. Canadá; 2007.
93. Pinot F, Kreps S, Bachelet M, Hainaut P, Bakonyi M, Polla B. Cadmium in the Environment: Sources, Mechanisms of Biototoxicity, and Biomarkers. *Rev Environ Health*. 2000; 15(3): 299-323.
94. Fiberg L, Piscator M, Nordberg G. Cadmium in the Environment. Estados Unidos: CRC Press. 1917.
95. Williams CR, Harrison RM. Cadmium in the Atmosphere. *Experientia*. 1984; 40(1): 29–36.
96. Kubier A, Wilkin RT, Pichler T. Cadmium in soils and groundwater: A review. *Appl Geochemistry*. 2019; 108.
97. Mahmood Q, Asif M, Shaheen S, Hayat MT, Ali S. Cadmium Contamination in Water and Soil. En: Hasanuzzaman M, Narasimha M, Fujita M, editors. Cadmium Toxicity and Tolerance in Plants. Elsevier Inc.; 2019. p. 141–161.
98. Brzóska MM, Moniuszko-Jakoniuk J. Interactions between cadmium and zinc in the organism. *Food Chem Toxicol*. 2001; 39(10):967–80.
99. Nordberg GF, Nogawa K, Nordberg M. Cadmium. En: Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, editors. Handbook on the Toxicology of Metals. Elsevier Inc.; 2015. p. 667-716.
100. Godt J, Scheidig F, Grosse-Siestrup C, Esche V, Brandenburg P, Reich A, et al. The toxicity of cadmium and resulting hazards for human health. *J Occup Med Toxicol*. 2006; 1(1):1–6.
101. Wester RC, Maibach HI, Sedik L, Melendres J, Dizio S, Wade M. In Vitro percutaneous absorption of cadmium from water and soil into human skin. *Toxicol Sci*. 1992; 19(1):1–5.
102. Bernhoft RA. Cadmium toxicity and treatment. *Sci World J*. 2013:1-4.
103. Ramírez A. Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. *An Fac Med*. 2013; 63(1):51.
104. Nordberg M. General aspects of cadmium: Transport, uptake and metabolism by the kidney. *Environ Health Perspect*. 1984; 54(6):13–20.

105. Rahimzadeh MR, Rahimzadeh MR, Kazemi S, Moghadamnia AA. Cadmium toxicity and treatment: An update. *Casp J Intern Med*. 2017; 8(3):135–45.
106. Repetto M. Toxicología avanzada. España: Diaz de Santos S.A.;1995.
107. Cataldi M, Vigliotti C, Sblendorio V, Ferrara C. Cadmium. Reference Module in Biomedical Sciences. *Elsevier*. 2017 [citado el 20 de agosto de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801238-3.99380-2>.
108. Zang Y. Cadmium: Toxicology. Encyclopedia of Food and Health [Internet]. Academic Press; 2016 [citado el 20 de agosto de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00097-0>.
109. Fristachi A, Choudhury H. Cadmium [Internet]. Second Edition: International Encyclopedia of Public Health; 2017: 316-319 [citado el 20 de agosto de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803678-5.00043-6>.
110. Kataranovski M, Mirkova I, Belij S, et al. Lungs: Remote inflammatory target of systemic cadmium administration in rats. *Environ Toxicol Pharmacol*. 2009; 28:225–231.
111. Organización Mundial de la Salud. Exposure to cadmium: A major public health concern. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans; 2010 [citado el 20 de agosto de 2021]. Disponible en: https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/09/List_of_Classifications.pdf.
112. Moyano P, De Frias M, Lobo M, et al. Cadmium induced ROS alters M1 and M3 receptors, leading to SN56 cholinergic neuronal loss, through AChE variants disruption. *Toxicology*. 2018; 394: 54-62.
113. De Frías, M. Efectos neurotóxicos del cadmio sobre las neuronas colinérgicas del prosencéfalo basal y su implicación en la inducción de alteraciones cognitivas [Tesis de maestría]. España: Universidad Complutense de Madrid; 2018.
114. Nava-Ruíz C, Méndez-Armenta M. Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Arch Neurocién*. 2011; 16(3): 140-147.

115. Pan J, Huang X, Yuxing L, et al. Zinc protects against cadmium-induced toxicity by regulating oxidative stress, ions homeostasis and protein synthesis. *Chemosphere*. 2017; 188: 265-273.
116. Omer N, Subbarayan V, Athinarayanan J, Alshatw A. Cadmium triggers mitochondrial oxidative stress in human peripheral blood lymphocytes and monocytes: Analysis using in vitro and system toxicology approaches. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2017; 42: 117-128.
117. Ospondpant D, Phuagkhaopong S, Suknuntha K, et al. Cadmium induces apoptotic program imbalance and cell cycle inhibitor expression in cultured human astrocytes. *Environ. Toxicol Pharmacol*. 2019; 65: 53-59.
118. Fristachi A, Choudhury H. Cadmium. Editor(s): Stella Q, International Encyclopedia of Public Health. Second Edition. *Academic Press*; 2017.
119. Deering KE, Callan AC, Prince RL, et al. Low-level cadmium exposure and cardiovascular outcomes in elderly Australian women: A cohort study, *Int. J Hyg. and Environ Health*. 2018; 221(2): 347-354.
120. Chen X, Zhu G, Lei L, Jin T. The association between blood pressure and blood cadmium in a Chinese population living in cadmium polluted area, *Environ Toxicol Pharmacol*. 2013; 36(2): 595-599.
121. Asgary S, Movahedian A, Keshvari M, Taleghani M, Sahebkar A, Sarrafzadegan N. Serum levels of lead, mercury and cadmium in relation to coronary artery disease in the elderly: A cross-sectional study. *Chemosphere*. 2017; 180: 540-544.
122. Tinkov A, Filippini T, Ajsuvakova OP, Skalnaya MG, Aaseth J, Bjørklund G, et al. Cadmium and atherosclerosis: A review of toxicological mechanisms and a meta-analysis of epidemiologic studies. *Environ Res*. 2018; 162: 240-260.
123. Jin T, Nordberg G, Ye T, Bo M, Wang H, Guoying Z, et al. Osteoporosis and renal dysfunction in a general population exposed to cadmium in China. *Environ Res*. 2004; 96(3): 353-359.
124. Kim SH, Kim Y, Kim NS, Lee BK. Gender difference in blood cadmium concentration in the general population: Can it be explained by iron deficiency? *J Trace Elem. Med. Biol*. 2014, 28(3); 322-327.

125. Chen X, Zhu G, Jin T, et al. Cadmium induces differentiation of RAW264.7 cells into osteoclasts in the presence of RANKL. *Food Chem Toxicol.* 2011, 49(9); 2392-2397.
126. Takebayashi S, Jimi S, Segawa M, Kiyoshi Y. Cadmium induces osteomalacia mediated by proximal tubular atrophy and disturbances of phosphate reabsorption. A study of 11 autopsies. *Pathol Res Pract.* 2000; 196 (9): 653-663.
127. Díaz A. Concentración de cadmio en sangre en una población laboral hospitalaria y su relación con factores asociados [Tesis de doctorado]. España: Universidad Complutense de Madrid; 2014.
128. Shen HM, Dong SY, Ong CN. Critical Role of Calcium Overloading in Cadmium-Induced Apoptosis in Mouse Thymocytes. *Toxicol Appl Pharmacol.* 2001; 171(1): 12-19.
129. Shin M, Paek D, Yoon C. The relationship between the bone mineral density and urinary cadmium concentration of residents in an industrial complex. *Environ Res.* 2011; 111(1):101-109.
130. Engström A, Michaëlsson K, Vahter M, Julin B, Wolk A, Åkesson A, Associations between dietary cadmium exposure and bone mineral density and risk of osteoporosis and fractures among women. *Bone.* 2012; 50(6): 1372-1378.
131. Chen X, Wang K, Wang Z, Gan C, He P, Liang Y, et al. Effects of lead and cadmium co-exposure on bone mineral density in a Chinese population. *Bone.* 2014; (63):76-80.
132. Burm E, Ha M, Kwon HJ. Association between blood cadmium level and bone mineral density reduction modified by renal function in young and middle-aged men. *J Trace Elemen Med Biol.* 2015; 32:60-65.
133. Zang Y, Devleeschauwer B, Bolger PM, Goodman E, Herman J. Global burden of late-stage chronic kidney disease resulting from dietary exposure to cadmium. *Environ Res.* 2019; 169: 72-78.
134. Gad SC. Cadmium. Ed. Wexler P. Encyclopedia of Toxicology (Third Edition), Academic Press. 2014: 613-616.
135. Zang Y, Bolger PM. Toxic Metals: Cadmium. Ed. Motarjemi Y. Encyclopedia of Food Safety; Academic Press. 2014: 346-348.

136. Cataldi M, Vigliotti C, Sblendorio V, Ferrara C. Cadmium. Reference Module in Biomedical Sciences. Elsevier. 2017.
137. De Frías M. Efectos neuróticos del cambio sobre las neuronas colinérgicas del prosencéfalo basal y su implicación en la inducción de alteraciones cognitivas [Tesis de doctorado]. España: Universidad Complutense de Madrid; 2018.
138. Pruski AM, Dixon DR, Effects of cadmium on nuclear integrity and DNA repair efficiency in the gill cells of *Mytilus edulis* L. *Aquatic Toxicology*. 2002; 57(3):127-137.
139. Internacional de Investigación sobre el Cáncer. Organización Mundial de la Salud. Cadmio y componentes del cadmio [Internet]. 2012 [citado el 22 de agosto de 2021]. Disponible en: <https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/06/mono100C-8.pdf>.
140. Wang Y, Manda A, Son Y, et al. Roles of ROS, Nrf2, and autophagy in cadmium-carcinogenesis and its prevention by sulforaphane. *Toxicol Appl Pharmacol*. 2018; 353: 23-30.
141. Claire H, Pernar EM, Ebot KM, et al. La epidemiología del cáncer de próstata. *Rev. Escuela Chan de Salud Pública*. 2018: 1-19.
142. Erostequi C, Oporto C, Zalles L, Sevilla R, Romero A. Evaluación del daño renal por cadmio en población expuesta a contaminación por éste en agricultores de Quila-Quila, Potosí. *Gac Med Bol* [Internet]. 2020 [citado el 22 de agosto de 2021]; 43(2):143-146. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1012-29662020000200005&lng=es.
143. Ostadrahimi A, Payahoo L, Somi MH, et al. The association between blood cadmium levels and the risk of gastrointestinal cancer in Tabriz, northwest of Iran. *Polish Annals of Medicine*. 2017; 24 (2): 133-137.
144. Andrade M, Santos E, Muniz D, Castro JT, Teixeira AP, Pereira J, et al. Sample preparation for the determination of metals in food samples using spectroanalytical methods - A review. *Appl Spectrosc Rev*. 2008;43(2):67–92.
145. Sneddon J, Hardaway C, Bobbadi KK, Reddy AK. Sample preparation of solid samples for metal determination by atomic spectroscopy - An

- overview and selected recent applications. *Appl Spectrosc Rev.* 2006;41(1):1–14.
146. Akinyele IO, Shokunbi OS. Comparative analysis of dry ashing and wet digestion methods for the determination of trace and heavy metals in food samples. *Food Chem.* 2015; 173:682–4.
147. Helaluddin ABM, Khalid RS, Alaama M, Abbas SA. Main analytical techniques used for elemental analysis in various matrices. *Trop J Pharm Res.* 2016;15(2):427–34.
148. Comisión del Codex Alimentarius. Petición de observaciones en el trámite 3 sobre el anteproyecto de niveles máximos para el cadmio en el chocolate y productos derivados del cacao. 2017.
149. Skoog DA, West DM, Holler FJ, Couch SR. Fundamentos de Química Analítica. 2005. 8^{va} edición. México: International Thomson Editores S.A; 2005.
150. Yuan X, Chapman RL, Wu Z. Analytical methods for heavy metals in herbal medicines. *Phytochem Anal.* 2011;22(3):189–98.
151. Jignesh S, Vineeta K, Abhay S, Vilasrao K. Analytical Methods for Estimation of Metals. *Int J Res Pharm Chem.* 2012;2(1):146–63.
152. Norma general para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos. CXS 193-1995, (Adoptada en 1995, enmendada en 2019).
153. Reglamento (UE) 2021/1317 de la Comisión que modifica el reglamento (CE) N° 1881/2006 por lo que respecta al contenido máximo de plomo en determinados productos alimenticios. Publicado en el Diario Oficial de la Unión Europea, Reglamento (UE) 2021/1317, (09 de agosto de 2021).
154. Reglamento (UE) 2021/1323 de la Comisión que modifica el reglamento (CE) N° 1881/2006 por lo que respecta al contenido máximo de cadmio en determinados productos alimenticios. Publicado en el Diario Oficial de la Unión Europea, Reglamento (UE) 2021/1323, (10 de agosto de 2021).
155. Ley de Inocuidad de los alimentos. Publicado en el diario oficial El Peruano. Ley N°1062, (28 de junio de 2008).

156. GreenFacts. Facts on Health and the Environment [Internet]. [citado el 16 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.greenfacts.org/es/glosario/abc/bioacumulacion-bioacumular.htm>
157. Lago M. Biodisponibilidad de metales pesados en suelos contaminados. [Tesis de doctorado] España: Universidad de Vigo; 2018. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=221733>
158. Arango SS. Biomarcadores para la evaluación de riesgo en la salud humana. Rev. Fac. Nac. Salud Pública [Internet]. 2011; 30(1): 75-82. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnsp/v30n1/v30n1a09.pdf>
159. Romano D. Disruptores endocrinos, nuevas respuestas para nuevos retos [Internet]. España: Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud; 2012 [citado el 16 de septiembre de 2021]. Disponible en: https://saludsindanio.org/sites/default/files/documents-files/2177/disruptores_endocrinos_final.pdf
160. Mazano R. Selección de plantas y enmiendas para la recuperación de suelos de mina contaminados con arsénico y metales pesados. [Tesis de doctorado]. España: Universidad Autónoma de Madrid; 2013. Disponible en: https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/660300/manzano_gutierrez_rebeca.pdf?sequence=1&isAllowed=y
161. Hoppert M. Metalloenzymes. En: Reitner J, Thiel V, editores. Encyclopedia of Geobiology. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer; 2011. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9212-1_134
162. Lemus M, Salazar R, Lapo B, Chung K. Metalotioneínas en bivalvos marinos. Lat. Am. J. Aquat. Res. [Internet]. 2016 [citado el 23 de mayo de 2022]; 44(2): 202 - 215. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-560X2016000200002&lng=es

163. Fernández G, Gonzalez E, Caravaca F. Nefropatías Intersticiales. *Nefrología al día* [Internet]. 2020 [citado el 02 de junio de 2022]. Disponible en: <https://www.nefrologiaaldia.org/252>
164. Mendoza J, Moreno M, León J, Patiño M, Bejarano F. Osteomalacia. Diagnóstico y tratamiento. *Rev Cuba Reumatol.* 2019; 21(2):1-11. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1817-59962019000200001
165. Ferrer B. Osteoporosis: definición, fisiopatología y clínica. *Rev Osteoporos Metab Miner.* 2021;13(Supl 1):54-7.
166. Pacheco E, Salazar P, Yáñez V. Metabolismo óseo y osteoporosis: conceptos y funciones. *Rev Biomed* [Internet]. 2022 [citado el 04 de junio de 2022]; 33(1). Disponible en: <https://www.revistabiomedica.mx/index.php/revbiomed/article/view/906/1009>
167. Cielinski G, Mercik S. Lead uptake and accumulation by strawberry plants. *Acta Horticulturae.* 1993; (348): 281–286.
168. Attanayake CP, Hettiarachchi GM, Harms A, Presley D, Martin S, Pierzynski GM. Field Evaluations on Soil Plant Transfer of Lead from an Urban Garden Soil. *J Environ Qual.* 2014; 43(2): 475–487.
169. Cielinski G, Neilsen GH, Hogue EJ. Effect of soil cadmium application and pH on growth and cadmium accumulation in roots, leaves and fruit of strawberry plants (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Plant and Soil.* 1996; 180: 267-276.
170. Bystricka J, Musilova J, Trebichalsky. The relationships between content of heavy metals in soil and in strawberries. *International Journal of Phytoremediation.* 2016; 18(6): 553 – 558.
171. Hakala M, Lapveteläinen A, Huopalahti R, Kallio H, Tahvonen R. Effects of varieties and cultivation conditions on the composition of strawberries. *J Food Compos Anal.* 2003; 16(1): 67– 80.
172. LLallahui F. & Quispe L. Determinación de Arsénico, Cadmio y Plomo en especias en polvo: Ají Paprika (*Capsicum annum*, L.), Ají Panca

(*Capsicum chinense*), Pimienta (*Piper nigrum*) y Comino (*Cuminum cyminum*), expendidos en el Mercado Caquetá-San Martín de Porres, Lima en el periodo Enero- 2018 [Tesis de Título Profesional]. Perú: Universidad Norbert Wiener. 2018. Disponible en:
<https://repositorio.uwiener.edu.pe/handle/20.500.13053/2653>.

X. ANEXOS

Anexo 1. Resultados de los análisis de plomo y cadmio en el CICOTOX - UNMSM



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Farmacia y Bioquímica



Centro de Información, Control Toxicológico y Apoyo a la Gestión Ambiental-CICOTOX

N°	88282	-	88299
----	-------	---	-------

PROTOCOLO DE ANÁLISIS TOXICOLÓGICO

SOLICITANTE: Srta. María Iris Ochoa Santiago/Srta. Lizbeth Milagros Pumayauli Almanza

TESIS: Evaluación de plomo y cadmio en fresas (*Fragaria ananassa*) expendidas en tres principales mercados mayoristas de Lima Metropolitana.

FECHA DE RECEPCIÓN: 15 de Enero de 2019 HORA: 06:35 p.m.

FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 20 de Enero de 2019 HORA: 08:15 a.m.

FECHA DE TÉRMINO DE ANÁLISIS: 18 de Febrero de 2019 HORA: 10:20 p.m.

MÉTODOS Plomo: Espectrofotometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito.
Cadmio: Espectrofotometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito.

OBSERVACIONES: La contramuestra será descartada a los 30 días posteriores al análisis.

N° ANÁLISIS	MUESTRA	ANÁLISIS CUANTITATIVO	RESULTADO
88282	Fresas (Código: 1-01)	Cuantificación de Plomo	0.036 mg/kg
88283		Cuantificación de Cadmio	0.038 mg/kg
88284	Fresas (Código: 1-02)	Cuantificación de Plomo	0.016 mg/kg
88285		Cuantificación de Cadmio	0.021 mg/kg
88286	Fresas (Código: 1-03)	Cuantificación de Plomo	0.041 mg/kg
88287		Cuantificación de Cadmio	0.028 mg/kg
88288	Fresas (Código: 1-04)	Cuantificación de Plomo	0.114 mg/kg
88289		Cuantificación de Cadmio	0.029 mg/kg
88290	Fresas (Código: 1-05)	Cuantificación de Plomo	0.135 mg/kg
88291		Cuantificación de Cadmio	0.016 mg/kg
88292	Fresas (Código: 2-01)	Cuantificación de Plomo	0.076 mg/kg
88293		Cuantificación de Cadmio	0.018 mg/kg
88294	Fresas (Código: 2-02)	Cuantificación de Plomo	0.095 mg/kg
88295		Cuantificación de Cadmio	0.019 mg/kg
88296	Fresas (Código: 2-03)	Cuantificación de Plomo	0.065 mg/kg
88297		Cuantificación de Cadmio	0.024 mg/kg
88298	Fresas (Código: 2-04)	Cuantificación de Plomo	0.057 mg/kg
88299		Cuantificación de Cadmio	0.055 mg/kg

Lima, 18 de febrero de 2019


 Director de CICOTOX
 Dr. José A. Apestequía Infantes
 Esp. Toxicología & Química Legal
 C.Q.F.P. N° 06538
 RNE 240
 D.N.I. N° 09359857



 DE AMÉRICO A. FIGUEROA VARGAS
 C.Q.F.P. 18579

RECOGE RESULTADO

NOMBRE: _____ FIRMA: _____
D.N.I.: _____ FECHA: _____ HORA: _____

IMPORTANTE: Cualquier reclamo se atenderá en un plazo máximo de 30 días de recepcionado el resultado.

"FARMACIA ES LA PROFESIÓN DEL MEDICAMENTO, DEL ALIMENTO Y DEL TÓXICO"
 Jr. Puno N° 1002, Jardín Botánico - Lima 1 - Perú Teléfonos: (511) 328-7700 Ap. Postal 4559 - Lima 1
 E-mail: cicotox.farmacia@unmsm.edu.pe http://farmacia.unmsm.edu.pe



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Farmacia y Bioquímica



Centro de Información, Control Toxicológico y Apoyo a la Gestión Ambiental-CICOTOX

N° **88318** - **88335**

PROTOCOLO DE ANÁLISIS TOXICOLÓGICO

SOLICITANTE: Srta. María Iris Ochoa Santiago/Srta. Lizbeth Milagros Pumayauli Almanza

TESIS: Evaluación de plomo y cadmio en fresas (*Fragaria ananassa*) expandidas en tres principales mercados mayoristas de Lima Metropolitana.

FECHA DE RECEPCIÓN: 15 de Enero de 2019 **HORA:** 06:35 p.m.

FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 20 de Enero de 2019 **HORA:** 08:15 a.m.

FECHA DE TÉRMINO DE ANÁLISIS: 18 de Febrero de 2019 **HORA:** 10:20 p.m.

MÉTODOS Plomo : Espectrofotometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito.

Cadmio : Espectrofotometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito.

OBSERVACIONES: La contramuestra será descartada a los 30 días posteriores al análisis.

N° ANÁLISIS	MUESTRA	ANÁLISIS CUANTITATIVO	RESULTADO
88318	Fresas (Código: 3-01)	Cuantificación de Plomo	0.116 mg/kg
88319		Cuantificación de Cadmio	0.013 mg/kg
88320	Fresas (Código: 3-02)	Cuantificación de Plomo	0.141 mg/kg
88321		Cuantificación de Cadmio	0.025 mg/kg
88322	Fresas (Código: 3-03)	Cuantificación de Plomo	0.027 mg/kg
88323		Cuantificación de Cadmio	0.030 mg/kg
88324	Fresas (Código: 3-04)	Cuantificación de Plomo	0.095 mg/kg
88325		Cuantificación de Cadmio	0.023 mg/kg
88326	Fresas (Código: 3-05)	Cuantificación de Plomo	0.082 mg/kg
88327		Cuantificación de Cadmio	0.016 mg/kg
88328	Fresas (Código: 3-06)	Cuantificación de Plomo	0.072 mg/kg
88329		Cuantificación de Cadmio	0.011 mg/kg
88330	Fresas (Código: 3-07)	Cuantificación de Plomo	0.005 mg/kg
88331		Cuantificación de Cadmio	0.055 mg/kg
88332	Fresas (Código: 3-08)	Cuantificación de Plomo	0.104 mg/kg
88333		Cuantificación de Cadmio	0.027 mg/kg
88334	Fresas (Código: 3-09)	Cuantificación de Plomo	0.092 mg/kg
88335		Cuantificación de Cadmio	0.020 mg/kg

Lima, 18 de febrero de 2019

Director de CICOTOX
 Dr. José A. Apesteegua Infantes
 Esp. Toxicología & Química Legal
 C.Q.F.P. N° 06538
 RNE 240
 D.N.I. N°0935



AMÉRICO A. FIGUEROA VARGAS
 C.Q.F.P. 18579

RECOGE RESULTADO

NOMBRE: _____ **FIRMA:** _____
D.N.I.: _____ **FECHA:** _____ **HORA:** _____

IMPORTANTE: Cualquier reclamo se atenderá en un plazo máximo de 30 días de recepcionado el resultado.

"FARMACIA ES LA PROFESIÓN DEL MEDICAMENTO, DEL ALIMENTO Y DEL TÓXICO"
 Jr. Puno N° 1002, Jardín Botánico – Lima 1 – Perú Teléfonos: (511) 328-7700 Ap. Postal 4559 – Lima 1
 E-mail: cicotox.farmacia@unmsm.edu.pe <http://farmacia.unmsm.edu.pe>



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Farmacia y Bioquímica



Centro de Información, Control Toxicológico y Apoyo a la Gestión Ambiental-CICOTOX

N° **88336** - **88341**

PROTOCOLO DE ANÁLISIS TOXICOLÓGICO

SOLICITANTE: Srta. María Iris Ochoa Santiago/Srta. Lizbeth Milagros Pumayauli Almanza

TESIS: Evaluación de plomo y cadmio en fresas (*Fragaria ananassa*) expandidas en tres principales mercados mayoristas de Lima Metropolitana.

FECHA DE RECEPCIÓN: 15 de Enero de 2019 HORA: 06:35 p.m.

FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 20 de Enero de 2019 HORA: 08:15 a.m.

FECHA DE TÉRMINO DE ANÁLISIS: 18 de Febrero de 2019 HORA: 10:20 p.m.

MÉTODOS Plomo : Espectrofotometría de Absorción Atómica con Homo de Grafito.
 Cadmio : Espectrofotometría de Absorción Atómica con Homo de Grafito.

OBSERVACIONES: La contramuestra será descartada a los 30 días posteriores al análisis.

Nº ANÁLISIS	MUESTRA	ANÁLISIS CUANTITATIVO	RESULTADO
88336	Fresas (Código: 3-10)	Cuantificación de Plomo	0.029 mg/kg
88337		Cuantificación de Cadmio	0.043 mg/kg
88338	Fresas (Código: 3-11)	Cuantificación de Plomo	0.120 mg/kg
88339		Cuantificación de Cadmio	0.023 mg/kg
88340	Fresas (Código: 3-12)	Cuantificación de Plomo	0.217 mg/kg
88341		Cuantificación de Cadmio	0.033 mg/kg

Lima, 18 de febrero de 2019


 Director de CICOTOX
 Dr. José A. Apesteegua Infantes
 Esp. Toxicología & Química Legal
 C.Q.F.P. N° 06538
 RNE 240
 D.N.I. N°0935




 AMERICO A. FIGUEROA VARGAS
 C.Q.F.P. 18579

RECOGE RESULTADO

NOMBRE: _____ **FIRMA:** _____
D.N.I.: _____ **FECHA:** _____ **HORA:** _____

IMPORTANTE: Cualquier reclamo se atenderá en un plazo máximo de 30 días de recepcionado el resultado.

"FARMACIA ES LA PROFESIÓN DEL MEDICAMENTO, DEL ALIMENTO Y DEL TÓXICO"
 Jr. Puno N° 1002, Jardín Botánico – Lima 1 – Perú Teléfonos: (511) 328-7700 Ap. Postal 4559 – Lima 1
 E-mail: cicotox.farmac@unmsm.edu.pe <http://farmacia.unmsm.edu.pe>

Anexo 2. Registros fotográficos



Gran Mercado Mayorista de Santa Anita



Venta de fresas al por mayor



Muestras de fresas en bolsas ziploc y rotuladas



Tratamiento de las muestras de fresas



Lectura de las muestras en el equipo espectrofotómetro de absorción atómica