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

Determinación del nivel de plomo y cadmio en bebidas preparadas a base de quinua comercializada de forma ambulatoria en 3 zonas concurridas de Lima Metropolitana y evaluación de su riesgo toxicológico

TESIS

Para optar el Título Profesional de Químico Farmacéutica

AUTOR

Marjorie Marina CHÁVEZ BORDA

ASESOR

Dr. José Antonio LLAHUILLA QUEA

Lima, Perú

2026



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

Chávez M. Determinación del nivel de plomo y cadmio en bebidas preparadas a base de quinua comercializada de forma ambulatoria en 3 zonas concurridas de Lima Metropolitana y evaluación de su riesgo toxicológico [Tesis de pregrado]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica; 2026.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Marjorie Marina Chávez Borda
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	74647661
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0002-6548-0175
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	José Antonio Llahuilla Quea
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	09780810
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-3926-8069
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Dr. Luis Alberto Inostroza Ruiz
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	18089817
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Dr. Amadeo Collado Pacheco
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07535726
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Mg. Manuel Alberto Torres Roca
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07257329

Datos de investigación	
Línea de investigación	Toxicología
Grupo de investigación	No aplica
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	Lima Metropolitana
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2023-2026
URL de disciplinas OCDE	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#3.01.06

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:

"Determinación del nivel de plomo y cadmio en bebidas preparadas a base de quinua comercializada de forma ambulatoria en 3 zonas concurridas de Lima Metropolitana y evaluación de su riesgo toxicológico"

Que presenta la Bachiller en Farmacia y Bioquímica:

MARJORIE MARINA CHÁVEZ BORDA

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:

QUINCE (15) APROBADO

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

Lima, 15 de enero de 2026

Mg. Luis Alberto Inostroza Ruiz
Presidente

Mg. Amadeo Collado Pacheco
Miembro

Mg. Manuel Alberto Torres Roca
Miembro

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE
SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

Anexo 1

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, José Antonio Llahuilla Quea en mi condición de asesor acreditado mediante Dictamen N° 011-FFB-EPFB-2026 de la tesis cuyo título es **Determinación del nivel de plomo y cadmio en bebidas preparadas a base de quinua comercializada de forma ambulatoria en 3 zonas concurridas de Lima Metropolitana y evaluación de su riesgo toxicológico** presentado por la bachiller Marjorie Marina Chávez Borda para optar al título profesional de Químico Farmacéutica.

CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el 13 % de similitud, nivel PERMITIDO para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional.**

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título profesional de Químico Farmacéutica.

Lima, 28 de mayo de 2026

Firma del Asesor: 

Nombres yApellidos del asesor: José Antonio Llahuilla Quea

DNI: 09780810

* Según corresponda: bachiller, magíster, doctor; título profesional o título de segunda especialidad

La vigencia del presente certificado corresponde a un período de noventa (90) días desde la fecha de su emisión; siempre que no haya observaciones en el texto durante el proceso de revisión por el jurado informante o surja alguna contingencia.

DEDICATORIA

A Dios por concederme la vida, por acompañarme y darme las fuerzas para seguir adelante.

A mis papitos, Edgar Chávez y Nelly Borda, quienes me dieron la vida y a quienes dedico con mucho amor mi tesis. Ustedes desempeñan un papel fundamental en mi crecimiento y desarrollo, me han guiado e inculcado principios, valores y, sobre todo, la fe en Dios. Con su inmenso amor, me han apoyado y respaldado siendo mi motor para seguir avanzando en cada etapa de mi vida. Valoro profundamente, el esfuerzo, la confianza y todo lo depositado en mí.

A mis hermanos porque es un privilegio tenerlos a mi lado y compartir momentos de felicidad que fortalecen el lazo fraternal que nuestros papitos nos han legado. Agradezco su apoyo constante, su amor y por estar presentes en cada paso de mi camino. Los amo profundamente.

A mi Lovren, nuestra hermana perruna, quien me acompañó en largas noches de estudio durante mi etapa universitaria y en la realización de mi tesis.

A Jairo, mi compañero y apoyo, quien estuvo presente en los momentos más difíciles, acompañándome con paciencia y fortaleza cuando sentía que no podía más.

A mis dos amigos, quienes me aconsejaron, motivaron y apoyaron a alcanzar exitosamente este reto llamado tesis.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, mi alma máter, y a toda la Facultad de Farmacia y Bioquímica.

A mis docentes por compartir sus enseñanzas y conocimientos, al personal administrativo y de limpieza por su apoyo constante durante mi etapa universitaria.

Al Dr. José Antonio Llahuilla Quea, mi asesor, por su guía y asesoramiento en la elaboración de mi tesis.

A los miembros del jurado examinador y calificador, Luis Alberto Inostroza Ruiz, Manuel Alberto Torres Roca y Amadeo Collado Pacheco, por sus valiosos aportes en mejorar la redacción del presente trabajo de investigación.

ÍNDICE

ABREVIATURAS viii
RESUMEN ix
ABSTRACT x
I. INTRODUCCIÓN 1
I.1 Planteamiento del problema: determinación del problema de investigación y formulación del problema 1
I.2 Objetivos 2
I.2.1 Objetivo general 2
I.2.2 Objetivos específicos 2
I.3 Importancia y alcance de la investigación 2
I.4 Limitaciones de la investigación 3
II. REVISIÓN DE LA LITERATURA 4
II.1 Marco teórico 4
II.1.1 Bebidas 4
II.1.1.1 Clasificación de las bebidas 4
II.1.1.1.1 Bebidas procedentes de insumos vegetales vegetales 5
II.1.1.1.1.1 Bebidas preparadas a base de quinua 5
II.1.2 Quinua 7
II.1.2.1 Taxonomía 8
II.1.2.2 Valor nutricional 8
II.1.2.3 Beneficios y perjuicios para la salud 10
II.1.3 Plomo 11
II.1.3.1 Fuentes de contaminación 11
II.1.3.2 Toxicocinética 12
II.1.3.3 Toxicodinámica 13
II.1.3.4 Toxicidad alimentaria del plomo 14
II.1.4. Cadmio 14
II.1.4.1 Fuentes de contaminación 14
II.1.4.2 Toxicocinética 15
II.1.4.3 Toxicodinámica 16
II.1.4.4 Toxicidad alimentaria del cadmio 16
II.1.5 Riesgo toxicológico 17
II.2 Antecedentes del estudio 19
II.3 Glosario de términos 22

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES 23
IV. MATERIALES Y MÉTODOS 25
IV.1 Área de estudio 25
IV.2 Diseño de investigación 25
IV.3 Población y muestra 26
IV.4 Procedimientos, técnicas e instrumentos de recolección de información 26
IV.4.1 Determinación de plomo y cadmio 26
IV.4.2 Evaluación del riesgo toxicológico 31
IV.4.2.1 Cálculo de la dosis de exposición 31
IV.4.2.2 Caracterización del riesgo 31
IV.5 Análisis estadísticos 32
V. RESULTADOS 33
V.1 Determinación de plomo 33
V.1.1 Concentración de plomo en bebidas preparadas a base de quinua 33
V.1.2 Análisis estadístico 34
V.1.3 Evaluación del riesgo toxicológico 35
V.2 Determinación de cadmio 36
V.2.1 Concentración de cadmio en bebidas preparadas a base de quinua 36
V.2.2 Análisis estadístico 37
V.2.3 Evaluación del riesgo toxicológico 38
VI. DISCUSIÓN 39
VII. CONCLUSIONES 42
VIII. RECOMENDACIONES 42
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 44
X. ANEXOS 52

TABLAS

Tabla 1. Taxonomía de la “quinua” (*Chenopodium quinoa* Willd) 8
Tabla 2. Principales fuentes de exposición por plomo..... 11
Tabla 3. Operacionalización de variables..... 24
Tabla 4. Rampa de calentamiento del horno de grafito (plomo) 28
Tabla 5. Rampa de calentamiento del horno de grafito (cadmio) 28
Tabla 6. Concentración de plomo en muestras de bebidas preparadas a base de quinua..... 33
Tabla 7. Media y desviación estándar para las concentraciones de plomo 33
Tabla 8. Prueba *T-student* para las concentraciones de plomo..... 34
Tabla 9. Valores para determinar la dosis de exposición del plomo 35
Tabla 10. Concentración de cadmio en muestras de bebidas preparadas a base de quinua..... 36
Tabla 11. Media y desviación estándar para las concentraciones de cadmio..... 36
Tabla 12. Prueba *T-student* para las concentraciones de cadmio 37
Tabla 13. Valores para determinar la dosis de exposición del cadmio 38

FIGURAS

Figura 1. Toxicocinética del plomo 13
Figura 2. Distribución del cadmio en el organismo..... 16
Figura 3. Área de toma de muestra 25
Figura 4. Esquema de preparación de la curva de calibración para el plomo 29
Figura 5. Esquema de preparación de la curva de calibración para el cadmio..... 29
Figura 6. Esquema para la preparación de la muestra 30
Figura 7. Concentración de plomo en cada muestra de bebida preparada a base de quinua y límite máximo permitido por el *Codex Alimentarius*.... 34
Figura 8. Concentración de cadmio en cada muestra de bebida preparada a base de quinua y límite máximo permitido por el *Codex Alimentarius*.... 37

ABREVIATURAS

Cd : cadmio
Da : Dalton
DE : dosis de exposición
FE : factor de exposición
IP : índice de exposición
ME : margen de exposición
mg/kg : miligramo por kilogramo
mg/kg/día : miligramo por kilogramo por día
mL : mililitro
Pb : plomo
ppm : partes por millón
TI : tasa de ingesta
µg/g : microgramo por gramo

RESUMEN

Las bebidas preparadas a base de quinua son comercializadas de forma ambulatoria como desayuno en el Perú gracias a su bajo precio, amplia disponibilidad y fácil acceso. Sin embargo, su exposición al medio ambiente y falta de control sanitario en el comercio ambulatorio representan un riesgo para la salud humana. Esta investigación tuvo como objetivo determinar los niveles de plomo y cadmio en bebidas preparadas a base de quinua comercializadas de forma ambulatoria en 3 zonas concurridas de Lima Metropolitana y evaluar su riesgo toxicológico. La determinación de plomo y cadmio se realizó mediante espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito y la evaluación del riesgo toxicológico empleó la metodología de la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). Las concentraciones de plomo y cadmio fueron 0,237 mg/kg ± 0,267 y 0,061 mg/kg ± 0,126, respectivamente, los cuales superaron los límites máximos permisibles establecidos en el *Codex Alimentarius* (0,020 mg/kg para plomo y 0,050 mg/kg para cadmio). Para evaluar el riesgo toxicológico, se calcularon la dosis de exposición (DE), cociente de peligro (HQ), índice de peligrosidad (HI) y margen de exposición (ME). Se obtuvo para plomo una DE = 0,169 x 10^{-8} mg/kg/día, HQ = 0,482 x 10^{-6} y ME = 0,148 x 10^{12}, y cadmio una DE = 0,349 x 10^{-8} mg/kg/día, HQ = 0,697 x 10^{-7}, ME = 0,287 x 10^{7} y HI = 0,5517 x 10^{-6}. Finalmente, se concluyó que el consumo de estas bebidas es de baja preocupación para la salud pública debido a que tiene un riesgo combinado aceptable y no se espera efectos adversos.

Palabras clave: plomo; cadmio; quinua; espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito; riesgo toxicológico.

ABSTRACT

Quinoa-based beverages are sold as street food breakfast options in Peru due to their low cost, wide availability, and easy access. However, their exposure to the environment and the lack of sanitary control in street vending pose a potential risk to public health. This study aimed to determine the levels of lead and cadmium in quinoa-based beverages sold in three high-traffic areas of Metropolitan Lima and to assess their toxicological risk. The determination of lead and cadmium was performed using graphite furnace atomic absorption spectrophotometry, while the toxicological risk assessment followed the methodology of the Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). The concentrations of lead and cadmium were 0,237 mg/kg ± 0,267 and 0,061 mg/kg ± 0,126, respectively, exceeding the maximum permissible limits established by the *Codex Alimentarius* (0,020 mg/kg for lead and 0,050 mg/kg for cadmium). To assess the toxicological risk, the exposure dose (ED), hazard quotient (HQ), hazard index (HI) and margin of exposure (ME) were calculated. For lead, an ED = 0.169 x 10^{-8} mg/kg/day, HQ = 0.482 x 10^{-6}, and ME = 0.148 x 10^{12} were obtained, and for cadmium, an ED = 0.349 x 10^{-8} mg/kg/day, HQ = 0.697 x 10^{-7}, ME = 0.287 x 10^{7}, and HI = 0.5517 x 10^{-6}. Finally, it was concluded that the consumption of these beverages is of low concern for public health because it has an acceptable combined risk and no adverse effects are expected.

Keywords: lead; cadmium; quinoa; graphite furnace atomic absorption spectrophotometry; toxicological risk.

I. INTRODUCCIÓN

I.1 Planteamiento del problema:

Determinación del problema de investigación

La industrialización, la minería, las actividades tecnológicas, urbanas y agrícolas, el uso indiscriminado de fertilizantes químicos y los procesos naturales como degradación de suelos, erosiones, son responsables de la contaminación del medio ambiente por metales pesados[1,2]. El consumo de alimentos es la principal vía de ingreso de metales pesados al organismo que afecta negativamente la salud humana según la concentración y tiempo de exposición a estos[2].

En la actualidad los alimentos contaminados por metales pesados toman un papel importante[3]. El magnesio, zinc, cobre, cromo, así como el cobalto son metales esenciales para el funcionamiento metabólico del hombre mientras que el plomo y cadmio no tienen beneficio alguno, son considerados elementos cancerígenos y altamente tóxicos por bioacumularse, no degradarse y poner en riesgo la vida humana[4]. El plomo y cadmio a través del agua, aire y tierra ingresan a las cadenas alimentarias que culminan en el consumo humano, esto genera graves problemas en la salud; por ello, el *Codex Alimentarius* establece niveles máximos permisibles de cada metal presente en los alimentos con la finalidad de proteger la salud pública y evitar efectos nocivos a corto, mediano y largo plazo[5,6].

Las bebidas preparadas a base de quinua son expendidas de forma ambulatoria como desayuno en el Perú gracias a su bajo precio, amplia disponibilidad y fácil acceso; sin embargo, su exposición al medio ambiente y el poco o nulo control sanitario en el comercio ambulatorio genera un riesgo latente para la salud humana[7]. Por lo expuesto, realizar una investigación es de suma importancia para determinar niveles de metales que son dañinos para la salud.

Formulación del problema

¿Los niveles de plomo y cadmio en bebidas preparadas a base de quinua comercializadas de forma ambulatoria en 3 zonas concurridas de Lima Metropolitana superan los límites máximos permisibles según lo establecido por el *Codex Alimentarius* y representan un riesgo toxicológico?

I.2 Objetivos

I.2.1 Objetivo general

Determinar los niveles de plomo y cadmio en bebidas preparadas a base de quinua comercializadas de forma ambulatoria en 3 zonas concurridas de Lima Metropolitana y evaluar su riesgo toxicológico.

I.2.2 Objetivos específicos

1. Determinar los niveles de plomo en bebidas preparadas a base de quinua comercializadas de forma ambulatoria en 3 zonas concurridas de Lima Metropolitana.
2. Determinar los niveles de cadmio en bebidas preparadas a base de quinua comercializadas de forma ambulatoria en 3 zonas concurridas de Lima Metropolitana.
3. Evaluar el riesgo toxicológico de plomo y cadmio debido al consumo de bebidas preparadas a base de quinua comercializadas de forma ambulatoria en 3 zonas concurridas de Lima Metropolitana.

I.3 Importancia y alcance de la investigación

Actualmente las bebidas preparadas a base de quinua expendidas en las calles de Lima han tenido un aumento en su consumo debido a su precio asequible, amplia disponibilidad y fácil acceso[7,8]. Estas bebidas se han vuelto populares por ser una opción saludable, natural y equilibrada; además de los beneficios nutricionales de la quinua, reconocida por ser gran fuente proteica y control del colesterol y grasas[9,10,11,12]. Sin embargo, una de las problemáticas a nivel mundial es la presencia de metales pesados en el aire, tierra, agua y en los alimentos los cuales ocasionan perjuicios tanto al medio ambiente como a la salud[8,9]. En Lima, la alta concentración de zonas

industriales y la gran afluencia de vehículos aumentan la exposición a estos metales, especialmente al plomo y al cadmio que pueden depositarse en las bebidas preparadas a base de quinua comercializadas en las calles de Lima[10,11]. Es por ello que es importante evaluar si las bebidas a base de quinua que consumimos presentan algún riesgo para salud pública debido a que el plomo y cadmio pueden acumularse en el cuerpo y ocasionar daños graves en el organismo a largo plazo[10,12].

Por lo expuesto, se busca evaluar la concentración de estos metales pesados en bebidas preparadas a base de quinua para determinar si existe riesgo toxicológico producido en la salud de las personas. Además, busca contribuir con el cumplimiento de las normativas regulatorias de seguridad alimentaria y concientizar sobre la calidad y riesgos del consumo de productos contaminados.

I.4 Limitaciones de la investigación

Una de las limitaciones en el presente estudio es la falta de información para saber con certeza si el resultado de la concentración de plomo y cadmio en bebidas preparadas a base de quinua comercializadas de forma ambulatoria en 3 zonas concurridas de Lima Metropolitana se debe al entorno en que se encuentra la muestra o al proceso de cultivo. Otra limitación es la falta de información sobre el recorrido que tiene la quinua desde su extracción hasta la preparación de la bebida. Estas limitaciones impiden atribuir de forma definitiva la razón de la presencia de metales pesados en las bebidas mencionadas.

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

II.1 Marco teórico

II.1.1 Bebidas

Se considera bebida a todo líquido que se consume con la finalidad de hidratar o saciar la sed. Se incluye al agua, pero se exceptúa a sopas y sustitutos de comida en forma líquida ya que estos tienen propósitos nutricionales[13].

Actualmente, la variedad de bebidas es amplia y fundamental porque proporciona alrededor del 80 % de agua al organismo. La variedad de bebidas comprende desde opciones básicas como el agua hasta opciones elaboradas como refrescos, jugos, extractos, infusiones, cafés, bebidas fermentadas, no fermentadas y carbonatadas (gaseosas), entre otros, que no solo cumplen con la necesidad fundamental de hidratar, sino que también ofrece una gran experiencia culinaria gracias a su amplia gama de sabores. En ese contexto, las bebidas son clasificadas de diversas maneras y bajo diferentes criterios[13,14].

II.1.1.1 Clasificación de las bebidas[15]

- **Bebidas alcohólicas:**
  - Cerveza, vino, licores, destilados
- **Bebidas no alcohólicas**
  - **Bebidas carbonatadas:** gaseosas, agua tónica
  - **Bebidas no carbonatadas:**

    Bebidas refrescantes: agua, jugos, refrescos, néctares

    Bebidas calientes: café, infusiones, té

    Bebidas lácteas: leche, yogur

    Bebidas energéticas, deportivas

    Bebidas procedentes de insumos vegetales: bebidas de soja, almendra, avena, maca, siete semillas, quinua, entre otros.

II.1.1.1.1 Bebidas procedentes de insumos vegetales

Las bebidas preparadas a partir de insumos vegetales como cereales, pseudocereales, leguminosas, frutos secos o semillas presentan una composición que comprende gran proporción de agua y una combinación equilibrada de macronutrientes. Estas pueden considerarse alternativas naturales y nutritivas según los ingredientes requeridos y el proceso de elaboración[13].

Su consumo ha ido en aumento debido a que carecen de lactosa y caseína, haciéndolas una opción para quienes buscan productos libres de estos componentes que, en la leche de origen animal, pueden causar intolerancias y problemas gastrointestinales. Adicionalmente, los consumidores buscan productos mínimamente procesados, evitando la presencia de sustancias artificiales como preservantes, conservantes, grasas saturadas o aditivos una alimentación, con la finalidad de acoger una alimentación más saludable. Esto ha permitido el incremento y crecimiento en el ámbito del mercado de bebidas elaboradas a base de soya, avena, maca, siete semillas, quinua[13,16].

II.1.1.1.1.1 Bebidas preparadas a base de quinua

Las bebidas preparadas a base de quinua destacan gracias a sus agradables características organolépticas, su contenido nutricional, su potencial nutracéutico y su rápida metabolización por la ausencia de gluten y lactosa[16,17]. La presencia de fibras dietéticas promueven la purificación del cuerpo humano, mientras que los ácidos grasos incrementan el colesterol bueno y disminuyen el colesterol malo. Además, los aminoácidos esenciales producen sensación de saciedad al beberlas[17]. Los beneficios en la salud de las bebidas preparadas a base de quinua son diversos entre ellos tenemos sus propiedades antinflamatoria y antioxidante[18].

a) Materia prima e insumos[19,20]

- Granos de quinua
- Agua
- Frutas: piña, durazno, membrillo
- Azúcar
- Chuño
- Clavo de olor
- Canela

b) Materiales[19,29]

- De acero inoxidable: olla con tapa, balde de 10L, cucharón y cuchillo.
- De plástico: botellas con tapa (250 mL)

c) Procedimiento para la elaboración de una bebida preparada a base de quinua[19,20]:

- **Compra de materia prima e insumos:** Comprar en el mercado más cercano los insumos (granos de quinua, piña, durazno, membrillo, azúcar, clavos de olor, canela y chuño).
- **Selección:** Seleccionar y desechar los granos de quinua, así como las frutas en mal estado.
- **Lavado, pelado y picado de frutas:** Lavar los granos de quinua y las frutas, estas últimas se pelan y pican en trozos homogéneos.
- **Preparación de la bebida preparada a base de quinua:** Derretir el azúcar en una olla a fuego lento. Luego, añadir el agua, las cáscaras de las frutas, el clavo de olor y la canela; y dejar hervir durante 30 minutos. Retirar las cáscaras de frutas y añadir los granos de quinua junto con los trozos de las frutas, y dejar hervir por otros 30 minutos. Después, diluir el chuño en una taza contenida de agua de fría y agregar a la olla una vez que esté completamente disuelto. Mezclar con un cucharón hasta que

espese. Finalmente, probar el dulzor y ajustar según sea necesario.

- **Traspase:** Traspasar de la olla a un balde de acero inoxidable la bebida preparada a base de quinua.
- **Envasado:** Llenar las botellas de plástico de 250 mL con la bebida preparada a base de quinua y luego tapar las botellas para su posterior comercialización.

II.1.2 Quinua

La quinua, cuyo nombre científico es ‘’*Chenopodium quinoa* Willd*’’* (quinua), es un pseudocereal andino originario de América del Sur y su amplia variedad genética se encuentra situada en Perú (lago Titicaca) y Bolivia. En la época incaica, fue considerada como un alimento de primera necesidad gracias a sus propiedades nutricionales, curativas y su fácil adaptabilidad en la agricultura, y en la actualidad el Perú destaca como uno de los países con mayor producción de quinua a nivel mundial[21,22,23].

Este pseudocereal se encuentra dentro del grupo de los ‘’granos del siglo XXI’’ debido a sus cuantiosos beneficios, y en el 2013, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) declaró ese año como el ‘’Año Internacional de la Quinua’’ con la finalidad de fomentar la preservación, producción e ingesta de la quinua a nivel mundial, así como focalizar la atención internacional sobre la salud alimentaria[22,23].

El consumo de quinua ha ido en aumento en todos los grupos etarios no solo por su valor nutricional sino también a su asequibilidad e ingreso al mundo culinario, entre sus presentaciones encontramos: bebidas, harinas, guisos, pastas, sopas, ensaladas, postres, etc.[24].

II.1.2.1 Taxonomía

Tabla 1. Taxonomía de la ‘’quinua’’ (*Chenopodium quinoa* Willd)[25]

Reino	*Plantae*
Subreino	*Viridiplantae*
Infrareino	*Streptophyta*
Superdivisión	*Embriofita*
División	*Tracheophyta*
Subdivisión	*Spermatophytina*
Clase	*Magnoliopsida*
Superorden	*Caryophyllanae*
Orden	*Cariófilos*
Familia	*Amaranthaceae*
Género	*Chenopodium L.*
Especies	*Chenopodium quinoa* Willd.

II.1.2.2 Valor nutricional

La quinua es un alimento completo gracias a su excelente valor nutricional. En relación con otros granos, tiene mayor porcentaje de macronutrientes (proteínas, lípidos, carbohidratos) y micronutrientes (vitaminas, minerales)[26].

a) Carbohidratos

La quinua contiene un porcentaje significativo de carbohidratos[27], principalmente almidón, que se encuentra entre el 58 % y el 64 % de su materia seca, siendo una fuente principal de energía por su alta solubilidad y digestibilidad[28,29]. Además, la quinua tiene entre un 8 % y 13 % de fibra dietética, mejorando la digestión y la absorción de nutrientes. Esta fibra se divide en solubles e insolubles, con las solubles representando entre el 10 % y 14 % y las insolubles entre el 1,3 % y 6,1 %. El proceso de extrusión puede convertir la fibra insoluble en soluble, lo que aumenta su digestibilidad[28,30].

b) Proteínas

Las proteínas están constituidas por compuestos orgánicos (aminoácidos esenciales y no esenciales) y la quinua es un alimento completo por contener todos los aminoácidos esenciales en cantidades que cumplen con los estándares propuestos por la FAO para satisfacer las necesidades nutricionales de niños y adultos[27,31]. Las proteínas de la quinua, componen

cerca de la quinta parte de su peso y tienen un valor proteico comparable al de la caseína de la leche. La lisina y la leucina son los aminoácidos más abundantes en la quinua y pese a ser limitantes, satisfacen los requerimientos nutricionales necesarios[27,31].

d) Grasas

La quinua contiene entre 5 % y 10 % de grasa, se divide en grasas monoinsaturadas y poliinsaturadas. La grasa monoinsaturada incluye ácido oleico (ω-9), mientras que las poliinsaturadas abarcan ácidos grasos esenciales como el ácido linolénico (ω-3) y el ácido linoleico (ω-6), que representan más de la mitad de su contenido graso. Estos ácidos son beneficiosos para el organismo al aumentar el HDL y disminuir el LDL[27,31]. Además, la grasa de la quinua es crucial para la estructura y función del sistema nervioso y actúa como antioxidante natural, gracias a su alto contenido de vitamina E, que protege las células del daño ocasionados por especies reactivas de oxígeno[31].

d) Minerales

Los minerales son micronutrientes esenciales que no son producidos por los seres vivos, por lo que deben obtenerse a través de una alimentación equilibrada para mantener las funciones vitales en óptimas condiciones[30]. La quinua es rica en minerales como magnesio, hierro y fósforo destacando el hierro por su gran contenido (0,009 g / 100 g) en comparación con otros pseudocereales, lo que es crucial para prevenir la anemia[27,31]. Sin embargo, su biodisponibilidad puede verse reducida por antinutrientes como las saponinas y el ácido fítico presentes en la quinua[27,31].

e) Vitaminas

Si se compara con otros cereales, la semilla de la quinua es una excelente fuente de vitamina B, C y E, ácido fólico, riboflavina y tiamina. La vitamina E es la que se encuentra en mayores cantidades y gracias a sus propiedades antioxidantes es considerado un alimento valioso. Por otro lado, la ingesta

de 100 g de quinua suple los requerimientos alimenticios que requiere un adulto[27,31].

f) Otros componentes

Los compuestos fenólicos es otro componente de la quinua y están constituidos por flavonoides y ácidos fenólicos que confieren propiedades antihipertensivas, antidiabéticas, antioxidantes, antiinflamatorias y anticancerígenas[27]. Betalaína, fitoquímico soluble, confiere propiedades anticancerígenas. Además, fue aprobado por la Unión Europea y la Autoridad de Alimentos y Medicamentos de los EE. UU. como colorante natural[27].

II.1.2.3 Beneficios para la salud

A la quinua se le atribuye el nombre de potencial nutracéutico por la presencia de ácidos fenólicos y flavonoides quienes mantienen la salud y bienestar de la persona, disminuyen el riesgo de padecer enfermedades no transmisibles debido a sus propiedades antiinflamatorias, antiproliferativa y antioxidante[18]. También ayudan a tratar enfermedades crónicas como el cáncer, la diabetes, infecciones, enfermedades cardiovasculares y enfermedades degenerativas, esta última mejora su curso gracias a la propiedad antioxidante[18,32]. Las betalaínas confieren propiedades antilipidémicas, antimicrobianas, anticancerígenas y antioxidantes[18]. Por otro lado, se recomienda el consumo de quinua a pacientes con enfermedades celiacas por la ausencia de gluten[32].

II.1.2.4 Perjuicios para la salud

El consumo excesivo de quinua puede generar irritación en el estómago debido a la capa natural de saponinas que posee este pseudocereal, el daño es mayor si la persona es alérgica a él. Hay saponinas que forman complejos con el zinc y el hierro lo que reduce la absorción y biodisponibilidad de estos minerales en el intestino que se manifestaría en diarreas, falta de apetito, anemias, anorexias, retardo en el crecimiento, etc.[27].

II.1.3 Plomo

II.1.3.1. Fuentes de contaminación

El plomo es un metal que está en la naturaleza y se encuentra presente en procesos industriales, en fuentes domésticas, en alimentos, en agua, aire y suelo (Tabla 2)[7]. En zonas urbanas, el nivel de plomo es mayor que en zona rurales debido a la adición de plomo en la gasolina de tal manera que dispersa y acumula este metal en la atmósfera. Un ejemplo, son los procesos industriales de las fábricas que emiten plomo al ambiente y contaminan espacios acuáticos y terrestres. Además, el mal uso de los equipos de protección personal causa la contaminación directa entre el ser humano y el plomo[7].

El plomo es considerado un contaminante universal, debido a su amplia distribución en el medio ambiente por diversas actividades humanas, como la minería, la fabricación de productos, el uso de combustibles fósiles, y en materiales comunes como tuberías, pinturas y componentes de vehículos. La persistencia del plomo en el suelo, aire, agua y biota, y su capacidad de dispersarse, contribuyen a su carácter de contaminante global. [33]

Tabla 2. Principales fuentes de exposición por plomo

Fuentes exógenas	**Agua**	Agua de grifo
		Agua de ríos, lagos y océanos
		Accesorios o agua que ha estado en contacto con plomo
		Tubería y soldaduras contaminadas por plomo
	Suelo	Campos de cultivo
		Campos cerca de fábricas contaminantes
	Aire	Emisiones producidas por la adición en gasolina
	Procesos industriales	Baterías de plomo y ácido
		Cables de revestimiento, pintura y esmaltes
		Exposición ocupacional
		Municiones de armas
		Plomo de pesca
		Producción de cerámica vidriada
	Fuentes Domésticas	Cosméticos, juguetes, medicinas tradicionales, tabaquismo.
	Alimentación	Origen animal
		Origen vegetal

Fuente: Salas, Azcona[7,34].

El plomo llega al agua potable principalmente por la corrosión de tuberías, soldaduras y accesorios que lo contienen. Cuando se altera la composición química del agua por tratamientos como el cambio de desinfectantes, el plomo se desprende de las tuberías y se mezcla con el agua. Este problema es más frecuente en sistemas de distribución con tuberías antiguas o en aquellos en los que los tratamientos aplicados al agua desestabilizan los depósitos minerales que antes capturaban el plomo[35]. Por otro lado, las actividades industriales emiten plomo al aire, lo que provoca que este se deposite en el suelo y sea arrastrado al agua de riego a través de la escorrentía o infiltración. Este proceso no solo reduce la calidad del agua de riego, sino que también disminuye la porosidad del suelo, afectando su capacidad para retener agua y, por tanto, deteriorando su calidad para la agricultura. Además, la toxicidad del plomo daña a los microorganismos beneficiosos en el suelo, disminuyendo su fertilidad. Así, este metal entra en la cadena alimentaria mediante las plantas que lo absorben, afectando tanto a animales como a humanos que consumen esos vegetales o sus derivados[36].

Durante la fabricación de envases plásticos, el plomo puede incorporarse si se utilizan maquinaria, aditivos, colorantes o pigmentos contaminados. Igualmente, también puede ocurrir contaminación cruzada durante la fabricación, uso de plástico reciclado contaminado o condiciones inadecuadas de almacenamiento y transporte[37,38]. En cuanto a ollas o utensilios de acero inoxidable, el desgaste del acero o de otros componentes puede exponer capas internas o soldaduras que contengan plomo, lo que podría resultar en su liberación y transferencia a los alimentos. Además, si se utilizan utensilios de cocina, como cucharas o espátulas, que han estado en contacto con plomo, este también puede transferirse a los alimentos durante su fabricación[7].

II.1.3.2 Toxicocinética

Absorción, distribución, metabolismo y excreción

El plomo se absorbe por vías inhalatoria, digestiva y cutánea. Su forma inorgánica se absorbe por inhalación y digestión, mientras que su forma orgánica se absorbe por las tres vías, especialmente por la piel[10,39,40]. Tras la absorción, el plomo se transporta en la sangre y se distribuye en sangre, huesos y tejidos blandos, con una vida media que varía de ± 35 días en la sangre a ± 20 - 30 años en los huesos, se almacena más en adultos que en niños y es considerado inerte y no tóxico[10,39,40]. La forma inorgánica no se metaboliza y se excreta de manera directa, mientras que la forma orgánica se metaboliza ligeramente y se acumula más en el cuerpo. El plomo se excreta principalmente por orina y heces, con menores cantidades eliminadas por otros medios como la piel, sudor y el cabello[10,34].

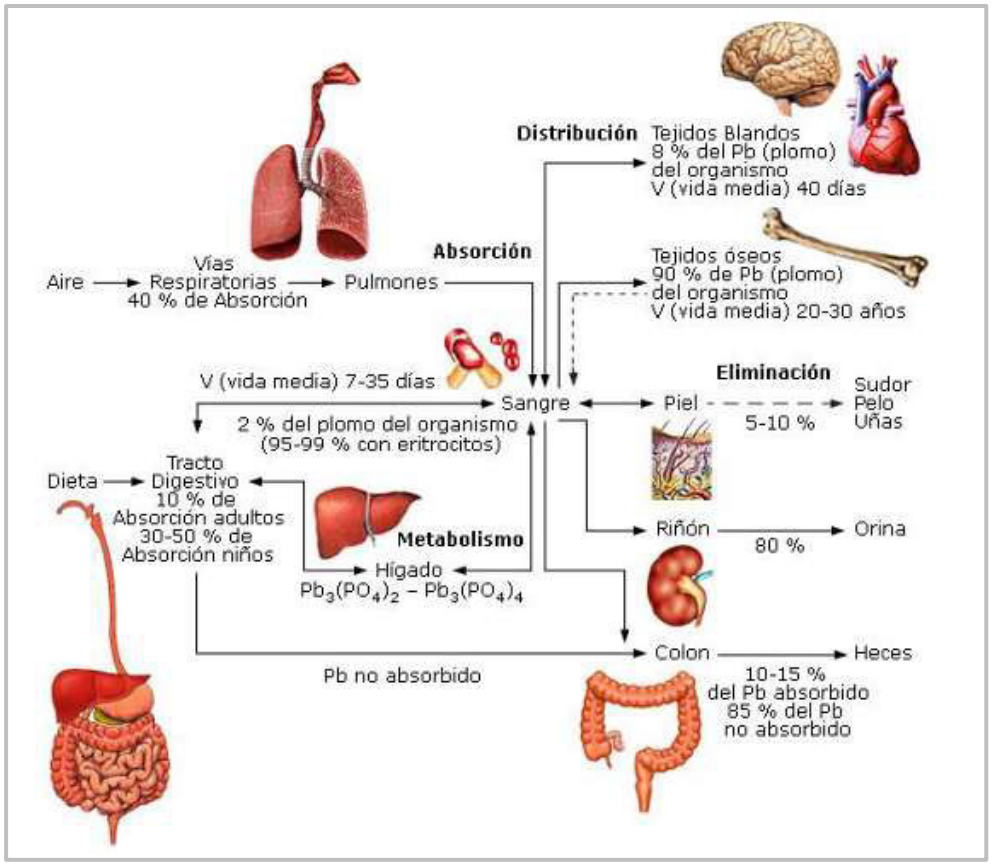


Figura 1. Toxicocinética del plomo.

Fuente. Rodríguez[10].

II.1.3.3 Toxicodinámica

El plomo tiene un mecanismo de acción complejo que incluye la inhibición de diversas enzimas y la interferencia con procesos que dependen de zinc, hierro y calcio debido a su similitud química con estos cationes[41,42]. Los efectos del plomo varían según la edad, el estado nutricional, la dosis y el tiempo de exposición[43,44]. La exposición aguda provoca síntomas como dolores de cabeza, irritabilidad, náuseas, anemia y dolores musculares, mientras que la exposición crónica afecta principalmente los sistemas hematopoyético, nervioso, reproductor y renal.

El plomo interfiere en la maduración normal de los eritrocitos, mediante la inhibición de enzimas que sintetizan el grupo Hem de la hemoglobina, como la delta-ALA deshidratasa y la ferroquelatasa. En consecuencia, aumenta la fragilidad mecánica y se reduce la vida media de los glóbulos rojos, lo que contribuye al desarrollo de anemia hemolítica. Asimismo, el plomo irrita la mucosa gástrica lo que produce cólicos saturninos, caracterizados por dolor abdominal intenso, intermitente, asociado a estreñimiento y vómitos, puede generar anorexia, náuseas, diarrea, pérdida de peso y sabor metálico. En casos de ingesta, el plomo puede acumularse en el tracto digestivo causando inflamación o apendicitis. [33, 44]

La intoxicación por plomo, también conocida como saturnismo, es causada por una exposición excesiva a este metal. Los síntomas iniciales incluyen cefalea y astenia, acompañados de insomnio, irritabilidad y pérdida de la líbido. A medida que la intoxicación avanza, puede producir encefalopatía subaguda o crónica, afectación cognitiva y del estado de ánimo. Además, el plomo afecta la función renal, produce alteraciones hematológicas como anemia y, en casos agudos, puede causar daño cardiovascular, incluyendo miocarditis y disritmias. El daño neuropsicológico en los niños es especialmente severo, presentando alteraciones en el aprendizaje, reducción del cociente intelectual, hiperactividad, vocabulario escaso, pérdida de agudeza auditiva, y dificultades en la coordinación mano-ojo, entre otros efectos[45].

Además, el plomo es considerado un posible cancerígeno en humanos.[33,43] Según la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer, (IARC, por

sus siglas en inglés), el plomo se considera como potencial cancerígeno en el grupo 2B, lo que indica que hay evidencia limitada de carcinogenicidad en humanos y evidencia suficiente en animales de experimentación.[43] Asimismo, según la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), el plomo se encuentra en la categoría A3, ya que su exposición repetida produce cáncer en animales de laboratorio, pero con relevancia incierta en humanos.[33]

II.1.3.4 Toxicidad alimentaria del plomo

La toxicidad del plomo puede manifestarse como aguda o crónica lo cual depende de las dosis, duración y vía de exposición[34,45,46].

a) Toxicidad aguda

Es la menos frecuente y se refiere a las reacciones adversas que ocurren inmediatamente después de una exposición a corto plazo (horas o días) a una gran cantidad de plomo. Estas reacciones pueden incluir síntomas graves como dolor abdominal, vómitos, diarrea, dificultad respiratoria, convulsiones, y en casos extremos, coma o la muerte[34,45,46].

b) Toxicidad crónica

Se refiere a las reacciones adversas que nacen de una exposición prolongada a largo plazo (meses o años) a cantidades bajas de plomo. Estas reacciones incluyen síntomas que se desarrollan lentamente y que no son evidentes como la anemia, hipertensión, daño renal, pérdida de memoria. En los niños ocasiona problemas cognitivos lo que disminuye su capacidad de concentración y aumenta conductas antisociales. Estos daños son irreversibles[34,45,46].

c) Límites de exposición

El límite máximo permisible (LMP) de plomo en bebidas preparadas a base de quinua según el *Codex Alimentarius* es de hasta 0,02 mg/kg[47].

II.1.4 Cadmio

II.1.4.1 Fuentes de contaminación

La principal fuente de contaminación de cadmio proviene de actividades antropogénicas tales como: fabricación de fertilizantes fosfatados, fabricación de baterías de cadmio-níquel, incineración de residuos de madera, plástico o carbón, combustión de gasolina y aceite, industria metalúrgica y minera[48], producción y uso de pigmentos de cadmio los cuales en la actualidad están siendo reemplazados por colorantes azoicos[33]. El proceso de extracción, fundición y refinación de metales como el cobre, plomo y zinc liberan partículas contaminantes de cadmio al ambiente que luego se depositan en el suelo y agua[49], estas partículas son arrastradas por la lluvia y otros procesos de escorrentía lo que contamina el agua de riego utilizado en la agricultura[49]. Se conoce que los niveles de cadmio en el aire de zonas industriales son mucho mayores al aire de zonas rurales; 9,1 a 26,7 mg/m^3 y 0,1 a 6,0 mg/m^3, respectivamente[50].

Otras fuentes de contaminación se dan mediante el tabaco y la alimentación. En el tabaco, la persona que fuma puede absorber cantidades similares a la de ingesta diaria en la dieta, se estima que por cigarrillo se inhala 0,1 a 0,2 mg de cadmio con una tasa de absorción del 40 al 50 % en pulmones[48,49]. En la alimentación, el cadmio llega al suelo por efluentes que vienen con residuos líquidos y sólidos de las industrias hidrometalúrgicas, lo cual puede contaminar los cultivos. Además, el uso indiscriminado de fertilizantes y estiércol acumulan cadmio en el suelo, afectando negativamente la calidad de cultivos y el agua. Como consecuencia, los cultivos absorben el cadmio del suelo, lo que lleva a la contaminación de los alimentos y representa un riesgo para la salud humana. En suelos contaminados, las concentraciones de cadmio alcanzan valores de hasta 1 mg de cd/g y, en agua de ríos contaminados hasta 0,14 mg de cd/L[49].

II.1.4.2 Toxicocinética

Absorción, distribución, metabolismo y eliminación

El cadmio ingresa al organismo principalmente por inhalación, ingestión y, en menor medida, a través de la piel[50,51]. Se distribuye en el cuerpo en tres compartimientos sanguíneos: uno de rápida distribución (sangre 1) sin acumulación a largo plazo, otro que afecta a los glóbulos rojos (sangre 2), y un tercero (sangre 3), de recambio lento, que acumula cadmio en el riñón[48,49]. El cadmio no se metaboliza y tiene una vida media de 30 a 40 años, lo que lleva a su eliminación lenta.[48]. Si la exposición es prolongada, incluso a bajas concentraciones, el cadmio puede acumularse y causar toxicidad[51]. Se elimina principalmente por la orina y las heces, con solo un 0,007 % y 0,030 % del cadmio total eliminado diariamente por estas vías, respectivamente[48,51].

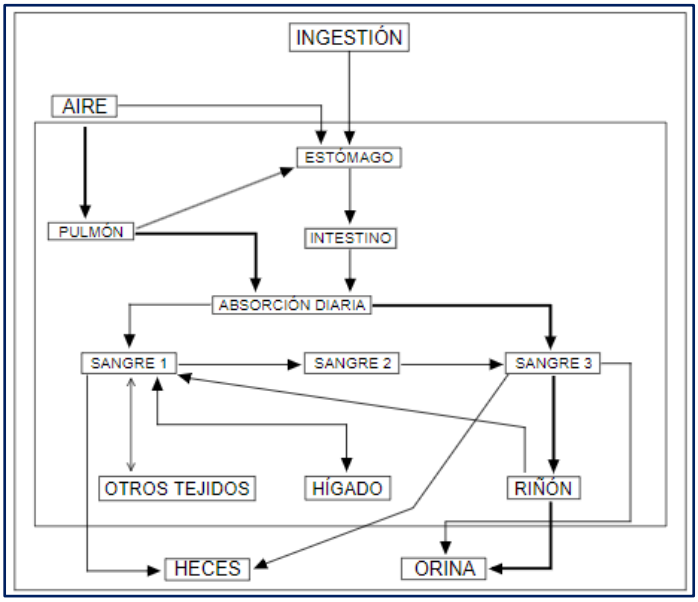


Figura 2. Distribución del cadmio en el organismo. Fuente: Ramírez[48].

II.1.4.3. Toxicodinámica

El riñón es el órgano más sensible al cadmio, superando al pulmón e hígado. El cadmio causa daño renal al alterar la filtración glomerular, lo que provoca la excreción de proteínas de alto peso molecular en la orina[48]. Su toxicidad se debe a su alta afinidad por grupos funcionales en proteínas tales como el

hidroxilo (OH), sulhidrilo (-SH), disulfuro (-S-) y su competencia con zinc, hierro, calcio y cobre, lo que inhibe enzimas y altera procesos bioquímicos[52,53]. La metalotioneína, una proteína que se une al cadmio para formar complejos estables ayuda a reducir la toxicidad al facilitar su excreción a través de los riñones[54,55].

II.1.4.4 Toxicidad alimentaria del cadmio

La toxicidad del cadmio se acumula especialmente en riñones e hígado y se manifiesta como aguda o crónica lo cual depende de las dosis, duración y vía de exposición[11,48].

d) Toxicidad aguda

Son reacciones adversas que resultan de una exposición a elevadas cantidades de cadmio en un corto período de tiempo (horas o días), son graves e inmediatas pese a ser menos comunes que las reacciones crónicas. Su exposición, que puede ocurrir mediante ingestión, inhalación o contacto dérmico, puede provocar síntomas como como mareos, diarreas, vómitos, daño hepático y renal, síntomas gastrointestinales y problemas respiratorios[11,48].

e) Toxicidad crónica

Son reacciones que resultan de una exposición prolongada (meses o años) a bajas cantidades de cadmio. Su exposición, que puede ocurrir mediante inhalación, ingestión de agua contaminada o alimentos, o por contacto con productos que contienen cadmio. A pesar de ser en niveles bajos, provoca graves, incluyendo daño renal, problemas en huesos, presión alta, enfermedades cardiovasculares, respiratorias y reproductivas, y un mayor riesgo de cáncer[11,48].

f) Límites de exposición

El límite máximo permisible (LMP) de cadmio en bebidas preparadas a base de quinua según el *Codex Alimentarius* es de hasta 0,05 mg/kg[47].

II.1.5. Riesgo Toxicológico.

El riesgo toxicológico es la evaluación de los posibles efectos no deseados (adversos) que una determinada sustancia puede tener sobre la población, teniendo en cuenta las características tóxicas de la sustancia y la exposición a la misma. Su finalidad es identificar y gestionar los peligros relacionados con las sustancias químicas para proteger la salud humana y el medio ambiente. Además, el riesgo toxicológico contribuye a implementar medidas preventivas o correctivas que reduzcan la exposición a niveles seguros en temas de salud pública, seguridad ocupacional y gestión de emergencias ambientales[56,57].

La metodología planteada por la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) para evaluación del riesgo toxicológico se da la siguiente manera[57]:

A) Identificación del riesgo

El peligro es cualquier agente, sustancia o situación con la potencialidad de ocasionar un efecto adverso. En esta primera etapa se recolecta información para determinar si la sustancia provocaría efectos no deseados para la salud[57].

B) Evaluación dosis-respuesta

En esta etapa, se determina la relación entre la dosis de la sustancia contaminante y cantidad de personas expuestas que manifiestan efectos no deseados. Partiendo de estos datos se calcula la dosis de referencia, parámetro de exposición, que sirve como límite de exposición seguro para la población[57].

C) Evaluación de la exposición

En esta etapa, se evalúa el nivel de contacto entre la población y la sustancia contaminante en un periodo determinado de tiempo. Se debe tener en cuenta: cantidad de sustancia contaminante en el ambiente

contaminado, población expuesta, vías de exposición, frecuencia y tiempo de exposición[57].

D) Caracterización del riesgo

Aquí se unificará la información obtenida en las etapas anteriores de la evaluación del riesgo toxicológico con el fin de determinar la probabilidad que ocurran efectos no deseados como producto de la exposición a la sustancia contaminante[57].

II. 2. Antecedentes del estudio

En la ciudad de Guayaquil, Panta N. y Vera E., determinaron la concentración de plomo y la calidad del jugo de caña de azúcar vendidas de forma ambulatoria mediante espectrofotometría de absorción atómica y pruebas bioquímicas, respectivamente. Lo niveles de concentración de plomo en el jugo de caña de azúcar estuvieron muy por debajo del límite de detección del equipo (0,500 mg/kg) y los niveles de microorganismos contaminantes no cumplen con los criterios microbiológicos permitidos por la INEN Ecuatoriana (Instituto Ecuatoriano de Normalización), concluyéndose que el consumo del jugo de caña de azúcar no es seguro para la salud[58].

Un estudio realizado por Terrazos S., se enfocó en determinar la concentración de plomo y cadmio en bebidas de jugo de naranja comercializadas de forma ambulatoria en Ate, departamento de Lima, a través del método de espectrofotometría de absorción atómica resultando niveles de cadmio por debajo y niveles de plomo por encima del límite máximo permisible (0,100 mg/kg) establecido por el *Codex Alimentarius* y MERCOSUR. Por otro lado, el riesgo toxicológico se evaluó mediante la metodología planteada por la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades resultando negativo el riesgo toxicológico según la dosis de exposición, índice de peligrosidad y margen de exposición hallados[59].

Hualán L. y Magallanes J., cuantificaron los niveles de arsénico y cadmio en 30 muestras de bebidas preparadas a base de quinua comercializada como desayuno en Santa Anita-Lima Metropolitana mediante la espectrofotometría de absorción atómica con generador de hidruros y espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito, respectivamente. Como promedio de los niveles para arsénico se obtuvo 0,048 ppm y para cadmio, 0,031 ppm; concluyendo que las muestras recolectadas no pasaron los límites permitidos y no presentan riesgo de toxicidad[60].

En el 2017, López J., mediante la espectrofotometría de absorción atómica por llama determinó las concentraciones de cadmio y plomo en muestras de soya en grano, polvo y líquido comercializada en cuatro centros comerciales de la ciudad de Guayaquil-Ecuador. Como resultado, la concentración de cadmio estuvo por debajo y la concentración de plomo por encima del nivel máximo permisible según indica la Unión Europea, 0,200 mg/kg; mientras que, según el *Codex Alimentarius*, 0,100 mg/kg, el cadmio estuvo por encima del nivel máximo permisible[61].

En los diversos mercados de Quito, Ecuador, se comercializa los jugos de alfalfa usados en la preparación de jugos naturales de fruta los cuales no cuenta con un registro sanitario; por ello, se determinó la cantidad de microorganismos contaminantes y la concentración de metales pesados presentes en el jugo de alfalfa con la finalidad de saber la calidad de este alimento. A través de la espectrofotometría de absorción atómica se encontró pequeñas cantidades de cadmio que estuvieron por debajo del nivel máximo permisible (0,100 mg/kg) mientras que el plomo (2,687 mg/kg) estuvo muy por encima del nivel máximo permisible (0,050 mg/kg) según lo establecido por las normas del INEN para alimentos y jugos naturales de fruta; además, en las pruebas microbiológicas en todas las muestras se encontró la presencia de microorganismos y en algunas muestras, parásitos concluyéndose la poca o nula higiene que se tiene en la preparación del producto[62].

En un mercado de Lucknow, India, se llevó a cabo una investigación para determinar la concentración de metales pesados en jugos de 5 tipos de fruta mediante la espectrofotometría de absorción atómica dando como resultado que la concentración de plomo y cadmio en jugos de manzana fue de 224,400 µg/g y 20,370 µg/g respectivamente, en jugos de plátano fue de 132,900 µg/g y 12,240 µg/g respectivamente, en jugos de granada fue de 200,700 µg/g y 9,180 µg/g respectivamente, en jugos de uva fue de 72,300 µg/g y 6,090 µg/g respectivamente y en jugos de naranja fue de 127,500 µg/g y 6,450 µg/g respectivamente; donde finalmente resultó que todas las muestras sobrepasan los niveles máximos permisibles de plomo (0,025 mg/kg) y cadmio (0,100 µg/g) según *Food Additive*/OMS cuyas normas de ese país en comparación con las normas internacionales son menos estrictas[63].

En Lima, entre los meses de marzo y julio del 2015 se recolectó 23 muestras de zumos de naranja de venta ambulatoria para determinar los niveles de cadmio y plomo. Gracias a la espectrofotometría de absorción atómica se obtuvo 0,330 ppm de plomo y 0,150 ppm de cadmio en las muestras analizadas cuyos resultados superan los niveles máximos permisibles (0,05 ppm) según lo recomendado por MERCOSUR, *Codex Alimentarius*, y la Unión Europea por lo que el consumo del zumo de naranja de venta ambulatoria en el Cercado de Lima no es recomendable[64].

En el 2014 Huanri J., optó por determinar mediante espectroscopia de absorción atómica los niveles de plomo y arsénico en jugo de caña de azúcar expendidos por ambulantes en 5 distritos de Lima Metropolitana. Las muestras fueron recolectadas en diferentes horarios y como resultado, los niveles de arsénico (0,029 ppm) estuvo por debajo del límite máximo permisible (0,200 ppm) mientras que los niveles de plomo (0,446 ppm) estuvo por encima del límite máximo permisible (0,100 ppm) según lo establecido por la FAO, *Codex Alimentarius* y OMS concluyendo así la relación directa entre el tiempo de exposición al medio ambiente y los niveles encontrados de plomo y arsénico[65].

En el mercado de Medina, Ghana, se recolectaron 23 muestras de jugo de frutas y por medio de Espectrofotometría de Absorción Atómica se determinó las concentraciones de cadmio, plomo, cobalto, zinc, cobre y hierro. En las 23 muestras analizadas se encontró trazas de cadmio (0,032 ± 0,012 mg/L) que sobrepasaron el nivel máximo permitido (0,005 mg/L) según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) y según la Unión Europea, el plomo también sobrepasó el nivel máximo permitido, pero a diferencia de cadmio, solo en 21 muestras se encontró trazas de plomo[66].

En Polonia, Krejpcio Z. y colaboradores, realizaron un estudio en el 2004 para determinar los niveles de cadmio, zinc, plomo y cobre presentes en jugos de frutas vendidos en los mercados polacos en donde alrededor del 89,900 ± 0,500 % de las frutas estudiadas presentaron valores bajos de cadmio, zinc, plomo y cobre y, el porcentaje restante de las frutas estudiadas presentó niveles altos de estos metales. Finalmente, el cadmio y plomo tuvieron valores por encima del nivel máximo permisible según las normas polacas[67].

En la Oroya, Junin, se evaluó el nivel de plomo y cadmio de la leche cruda en áreas cercanas a actividades minero-metalúrgicas. Se recolectaron 40 muestras de leche cruda en distintas épocas del año de vacas en zonas afectadas por emisiones industriales y se cuantificó por espectrofotometría de absorción atómica. Se determinó que los niveles de plomo en todas las muestras superaron el nivel máximo permitido establecido por el *Codex Alimentarius*, con una media de 577 ± 18.2 µg/kg. En el caso de cadmio, también se encontró por encima del límite máximo permitido con una concentración promedio de 18.35 ± 5.4 µg/kg. En la evaluación del riesgo, se evidenció que la ingesta de plomo, especialmente en niños menores de 15 años, excede los valores de referencia de seguridad, con un coeficiente de riesgo superior a 3 en los menores de 8 años.[68]

En Ciudad de México, se evaluaron los niveles de metales pesados en alimentos, bebidas y condimentos más consumidos por la población mexicana. Se recolectaron 103 muestras en establecimientos minoristas como mercados tradicionales y cadenas de supermercados, se analizaron por espectrofotometría de absorción atómica con llama. Se evidenció que el 18% de las muestras de alimentos se encontraron por encima del límite máximo permitido de plomo, con concentraciones máximas de 1.005 mg/kg para el cereal infantil de arroz y 0.447 mg/kg para pan de trigo integral. Estos hallazgos sugieren que, aunque la mayoría de los productos se encuentran dentro de los límites seguros, un porcentaje significativo podría representar un riesgo para la salud debido a la exposición crónica a metales como plomo, especialmente en alimentos infantiles y cereales.[69]

En Huancayo, se determinaron los niveles de metales pesados en cuyes criados cerca a actividades mineras y riego con aguas residuales. Se cuantificó por espectrometría de absorción atómica por absorción de plasma acoplado inductivamente y se concluyó que las muestras se encontraban en los límites máximos permisibles establecidos según el *Codex Alimentarius*. Asimismo, indicaron que la ingesta de carne de cuy no representa un riesgo toxicológico para la población peruana en el rango de edad de 2 a 85 años.[70]

II.3 Glosario de términos

A. ***Codex alimentarius*:** grupo de normas, directrices, códigos de prácticas y recomendaciones sobre inocuidad de los alimentos[71].
B. **Compuesto bioactivo:** componente vegetal no nutritivo presente en los alimentos que interviene en procesos fisiológicos y celulares con beneficios para la salud[72].
C. **Espectrofotometría:** técnica analítica empleada para medir la cantidad de luz absorbida por un cuerpo químico en función de la longitud de onda de la radiación[73].
D. **Metales pesados:** elementos químicos de alto peso atómico, no degradables que se acumula y transforma en los órganos vivos. Su

incrementada toxicidad genera efectos nocivos en la salud y en los ecosistemas[74].

E. **Metalotioneína:** superfamilia de proteína de bajo peso molecular, con alto contenido de cisteína que le dan la capacidad de adicionar metales a su estructura. Entre sus funciones está: la detoxificación de metales pesados tras la formación de complejos estables, la regulación homeostática del zinc, regulación de factores en los procesos antinflamatorios y capacidad antioxidantes al capturar especies reactivas de oxígeno (ROS)[52,53].
F. **Pseudocereal:** semillas comestibles libres de gluten con apariencia, contenido de almidón y características nutricionales similares a los cereales[75].
G. **Riesgo toxicológico:** probabilidad que una sustancia contaminante produzca efectos no deseados en la población dependiendo de las circunstancias de exposición[55,56].
H. **Toxicodinámica:** estudia la forma en que un tóxico ejerce su efecto de toxicidad en el organismo[10].
I. **Toxicocinética:** estudia el proceso de un tóxico en el organismo. Este proceso comprende: absorción, metabolismo, distribución y eliminación[76,77].

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

III.1. Hipótesis

Las bebidas preparadas a base de quinua comercializadas de forma ambulatoria en 3 zonas concurridas de Lima Metropolitana contienen niveles de plomo y cadmio que superan los límites máximos permisibles según lo establecido por el *Codex Alimentarius* y representan un riesgo toxicológico.

III.2. Variables

Variable independiente

Niveles de plomo y cadmio en bebidas preparadas a base de quinua comercializadas de forma ambulatoria en 3 zonas concurridas de Lima Metropolitana.

Variable dependiente

Evaluación del riesgo toxicológico por consumo de bebidas preparadas a base de quinua comercializadas de forma ambulatoria en 3 zonas concurridas de Lima Metropolitana.

III.3. Operacionalización de variables

Tabla 3. Operacionalización de variables

VARIABLE(S)	TIPO DE VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA
Niveles de plomo y cadmio	Independiente (Cuantitativa)	Proporción entre soluto y disolvente de una disolución	Cantidad de plomo y cadmio presentes en bebidas preparadas a base de quinua por espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito para plomo y espectrofotometría de absorción atómica con llama para cadmio.	Concentración de plomo	[Pb] > 0,02 mg/kg	mg/kg
				Concentración de cadmio	[Cd] > 0,05 mg/kg	
Riesgo toxicológico	Dependiente (Cualitativa)	Metodología que tiene como finalidad evaluar la probabilidad del efecto tóxico que puede producir un compuesto.	Evaluación del posible efecto toxico que pueda causar el consumo bebidas preparadas a base de quinua comercializadas de forma ambulatoria en 3 zonas concurridas de Lima Metropolitana.	Dosis de exposición (DE)	Concentración de plomo y cadmio	mg/kg/día
				Índice de peligrosidad (IP)	IP > 1	Adimensional
				Margen de exposición (ME)	IP < 1 ME > 1 ME < 1	

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

IV.1. Área de estudio

El área de estudio se llevó a cabo en las siguientes coordenadas (figura 3):

1. **12°02'40.3"S 77°01'23.3"W:** puente Balta con jirón Amazonas (Cercado de Lima).
2. **12°03'06.7"S 77°01'43.4"W:** avenida Abancay con jirón Cuzco (Cercado de Lima).
3. **12°04'23.8"S 77°00'59.5"W:** avenida Parinacochas con Avenida México (La Victoria).



Figura 3. Área de toma de muestra.
Fuente: https://www.google.com/maps

IV.2. Diseño de investigación

El presente estudio es una investigación cuasi - experimental del tipo descriptiva, transversal y prospectiva.

IV.3. Población y muestra

Población

Bebidas preparadas a base de quinua que son comercializadas de forma ambulatoria en zonas de alto tránsito de Lima Metropolitana durante el mes de abril 2023.



Muestra

Se recolectó un total de 15 muestras, correspondientes a 5 bebidas por cada una de las 3 zonas seleccionadas de Lima Metropolitana durante el mes de abril 2023. Estas zonas fueron elegidas por su alta afluencia de personas y la presencia constante de vendedores ambulantes que comercializan esta bebida.

Tipo de Muestreo

Se aplicó un muestreo no probabilístico por conveniencia con distribución estratificada geográfica. Es no probabilístico debido a que la selección de zonas y puntos de muestreo se realizó en función del acceso y presencia activa de vendedores ambulantes. Es por conveniencia debido a la disponibilidad y accesibilidad del producto en el momento de la recolección. Es estratificado por zona geográfica, ya que se buscó abarcar diferentes zonas representativas de Lima, asignando un número igual de muestras en

cada zona para asegurar una adecuada representatividad territorial sin propósito comparativo.

Cálculo de tamaño de muestra

Se determinó el tamaño de muestra en base a la siguiente formula [77]:

$$n = \frac{2(\mathrm{Z}\alpha + \mathrm{Z}\beta)^2 (s)^2}{d^2} = \frac{2(1{,}96+1{,}64)^2 (0{,}0223)^2}{(0{,}03)^2} = \mathbf{14}$$

Se asumió un % de pérdida del 5% (p), por lo cual el número de muestra fue de:

$$n_{ajustado} = \frac{n}{1-p} = \frac{14}{1-0{,}05} = \mathbf{14{,}7 = 15}$$

Donde:

cte. **:** constante

n **:** tamaño de muestra sin considerar las perdidas

$\boldsymbol{Z\alpha}$ **:** 1,960 (cte. de distribución normal para un nivel de confianza del 95 %)

$\mathbf{Z\beta}$ **:** 1,640 (cte. de distribución normal para que la potencia de la prueba sea 95 %)

s **:** 0,022 mg/kg - valor de referencia de la desviación estándar para el plomo y cadmio

d **:** 0,030 mg/kg - diferencia mínima que se desea detectar

$\mathbf{n_{ajustado}}$ **:** tamaño de muestra ajustado considerando la perdida esperada

p **:** 5% o 0.05 - proporción de pérdida esperada.

IV.4. Procedimientos, técnicas e instrumentos de recolección de información

IV.4.1 Determinación de plomo y cadmio

A) Método analítico

Se llevó a cabo según la metodología propuesta por el autor Skoog[73], "se determinó los niveles de plomo y cadmio a través de la espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito. Fue realizado por CICOTOX (Centro de Información, Control Toxicológico y Apoyo a la Gestión Ambiental) de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la UNMSM".

B) Materiales, reactivos y equipos

B.1 Reactivos y estándares

Todos los reactivos utilizados deben especificar "para analizar" y el agua debe ser ultrapura.

- Ácido nítrico (HNO_3) al 68 – 70 % purificado
- Solución ácido nítrico concentrado
- Solución patrón de plomo de 1000 mg/L
- Solución patrón de cadmio de 1000 mg/L
- Gas argón UHP

B.2 Materiales y equipos

- Equipo: Espectrofotómetro de Absorción atómica equipado con horno de grafito.
  Marca y modelo: THERMO SCIENTIFIC - AA iCE 3500
- Balanza analítica:
  Marca y modelo: RAGDAW - AS 200 R2
  Sensibilidad: +/- 0,0001 g
  Capacidad: 220 g
- Plancha de calentamiento
- Micropipetas de 10 -100 µL
- Micropipetas de 100 - 1000 µL
- Cubetas plásticas de 1,5 mL
- Fiolas de 10, 25 y 100 mL

C) Condiciones espectrofotométricas

Determinación de plomo

- **Longitud de onda:** 217 nm
- **Flujo de gas argón:** 2 L/min
- **Ranura (Slit):** 0,5 nm
- **Corrección de fondo:** lámpara de deuterio (D2)
- **Corriente de lámpara:** 10 Ma
- **Tubo de grafito:** normal
- **Fuente de luz:** lámpara de cátodo hueco de plomo
- **Medida de señal:** área del pico
- **Volumen de muestra:** 20 µL

Tabla 4. Rampa de calentamiento del horno de grafito (plomo)

Fase	Temperatura (º C)	Tiempo (s)	Rampa (º C/s)	Flujo de gas
1	120	20,0	10	0,2 L/min
2	250	10,0	15	0,2 L/min
3	800	10,0	0	0,2 L/min
4	800	10,0	0	0,2 L/min
5	800	3,0	0	0,2 L/min
6	2400	2,0	0	Apagado
7	2500	2,0	0	0,2 L/min

Fuente. Proporcionado por CICOTOX.

Determinación de cadmio

- **Longitud de onda:** 228,8 nm
- **Flujo de gas argón:** 2 L/min
- **Ranura (Slit):** 1,0 nm
- **Corrección de fondo:** lámpara de deuterio (D2)
- **Corriente de lámpara:** 50 %
- **Tubo de grafito:** normal
- **Fuente de luz:** lámpara de cátodo hueco de cadmio
- **Medida de señal:** área del pico
- **Volumen de muestra:** 20 µL

Tabla 5. Rampa de calentamiento del horno de grafito (cadmio)

Fase	Temperatura (º C)	Tiempo (s)	Rampa (ºC/s)	Flujo de gas
1	100	25,0	10	0,2 L/min
2	800	10,0	150	0,2 L/min
3	1200	3,0	0	Apagado
4	2500	3,0	0	0,2 L/min

Fuente: proporcionado por CICOTOX

D) Preparación de la curva de calibración

Para el plomo

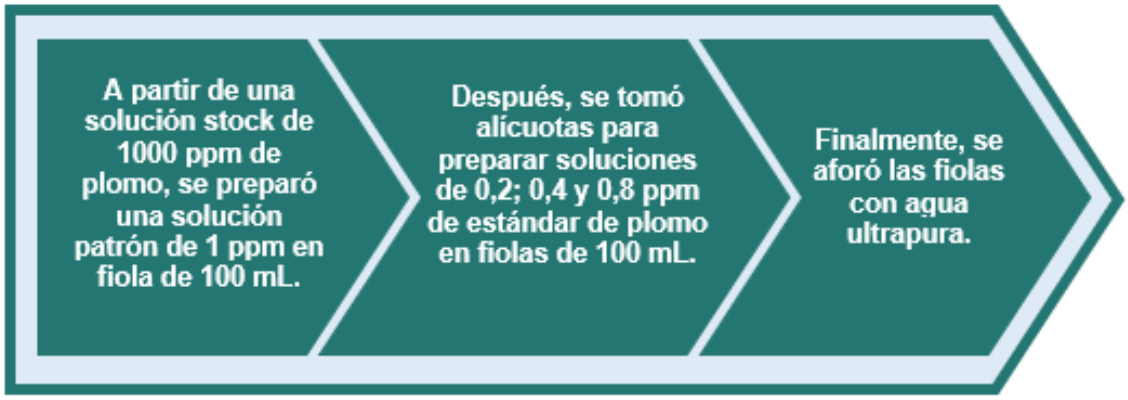


Figura 4. Esquema de la preparación de la curva de calibración para el plomo

Fuente: elaboración propia, junio 2023.

Para el cadmio

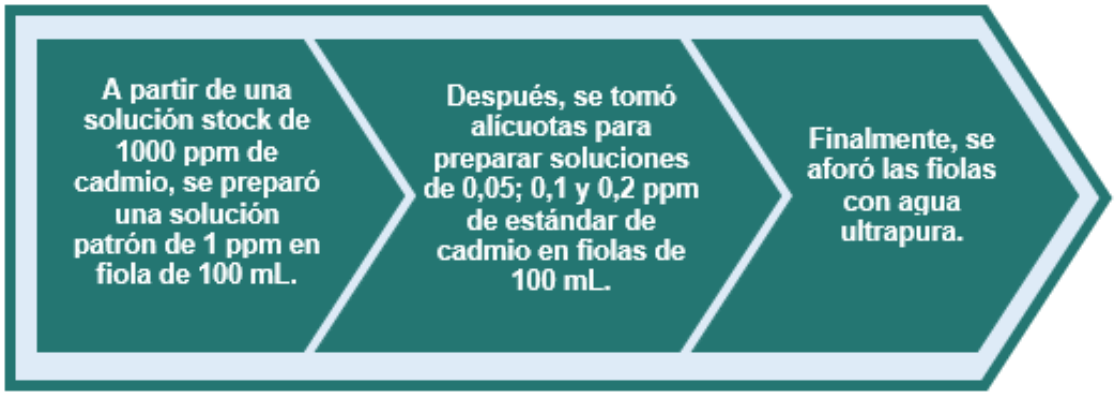


Figura 5. Esquema de la preparación de la curva de calibración para el cadmio

Fuente: elaboración propia, junio 2023.

E) Preparación de la muestra

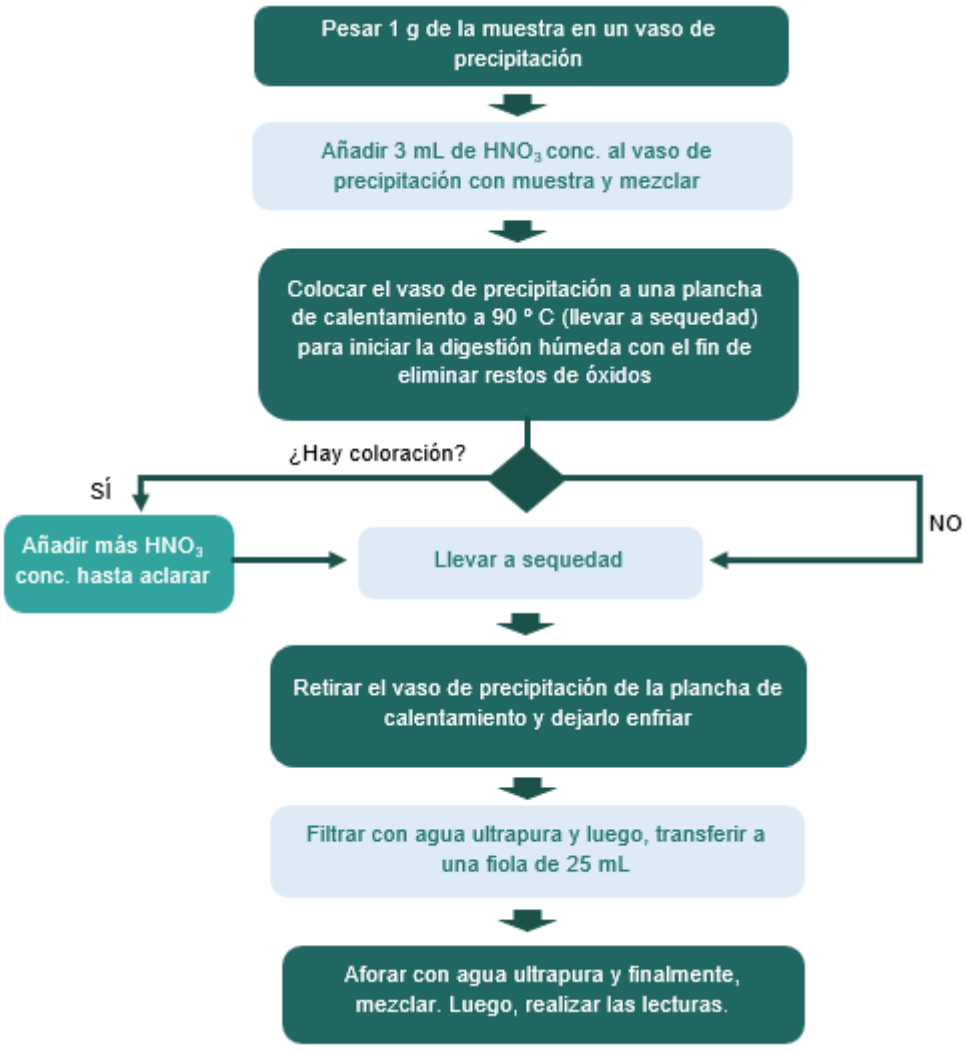


Figura 6. Esquema para la preparación de la muestra

. Fuente: elaboración propia, junio 2023.

IV.4.2 Evaluación del riesgo toxicológico

IV.4.2.1 A. Cálculo de la dosis de exposición (DE)[57]

Cantidad de sustancia contaminante a la que la población está expuesta es expresada en mg/kg/día.

Se calcula:

$$DE = \frac{c\ x\ TI\ x\ FE\ x\ 10^{-6} kg/g}{PC}$$

Donde:

c : concentración del contaminante en mg/kg

TI : tasa de ingesta en mg/día

FE : factor de exposición

PC : peso corporal en kg

Para el plomo, la tasa de ingesta diaria es de 0,5 mg/dia[7] y para el cadmio, 40 x 10^{-3} mg/día[3]. El factor de exposición fue de 1.

V.4.2.2 Caracterización del riesgo[57]

Evalúa la aparición de un daño que se determina por índice de peligrosidad y margen de exposición.

B) Cociente de peligro (HQ) [57]

Si:

HQ < 1 No se esperan efectos adversos

HQ = 1 Umbral de preocupación

HQ > 1 Posible riesgo no carcinogénico

Se calcula:

$$HQ = \frac{DE}{DRF\ (\text{Según cada metal})}$$

C) Índice de peligrosidad (HI)[57]

El Índice de Peligrosidad (HI) evalúa el riesgo combinado de varias sustancias o múltiples vías de exposición que afectan al mismo órgano o sistema.

Si:

- HI < 1 Riesgo combinado aceptable
- HI ≥ 1 Posible preocupación por efectos acumulativos

Se calcula:

$$\mathbf{HI} = \sum \boldsymbol{HQi}$$

Donde:

DE **:** dosis de exposición

DRF **:** dosis de referencia

DRF pb **:** 0,0035 mg/kg/día[4]

DRF cd **:** 0,0005 mg/kg/día[4]

B) Margen de exposición (ME)[57]

Relación entre la dosis máxima de una sustancia que ha demostrado en las pruebas no presentar efectos perjudiciales en la salud de personas ni de animales (NOAEL) y la dosis de exposición (DE).

Criterios de interpretación (EFSA / OMS)

Si:

- ≥ 10 000 Baja preocupación para la salud pública
- 1 000 – 9 999 Posible preocupación
- < 1 000 Alta preocupación

Se calcula:

$$\text{ME} = \frac{NOAEL}{DE}$$

En el caso del plomo presenta un NOAEL de 250 mg/kg/día y en el cadmio, 0,010 mg/kg/día.

IV.5. Análisis estadístico

Se empleó el programa SPSS 25.0 y posteriormente, Microsoft Excel 2019.

V. RESULTADOS

V.1 Determinación de plomo

V.1.1 Concentración de plomo en bebidas preparadas a base de quinua

Tabla 6. Concentración de plomo en muestras de bebidas preparadas a base de quinua

Codificación de muestras	Concentración de plomo (mg/kg)
MC-01	0,598
MC-02	0,655
MC-03	0,480
MC-04	0,683
MC-05	0,219
MC-06	0,226
MC-07	0,000
MC-08	0,427
MC-09	0,000
MC-10	0,000
MC-11	0,000
MC-12	0,272
MC-13	0,000
MC-14	0,000
MC-15	0,000

Tabla 7. Media y desviación estándar para las concentraciones de plomo

N.º Muestras	Media	Desviación estándar	LMP*
15	0,237 mg/kg	0,267	0,020 mg/kg

*LMP: límite máximo permisible

De las 15 muestras analizadas, se obtuvo que el 53,300 % (8 muestras) excedieron el límite máximo permisible (0,020 mg/kg) establecido por el *Codex Alimentarius*. En contraste, el 46,700 % de las muestras, que corresponde a las 7 muestras restantes estuvieron dentro del límite máximo permisible (Figura 7).

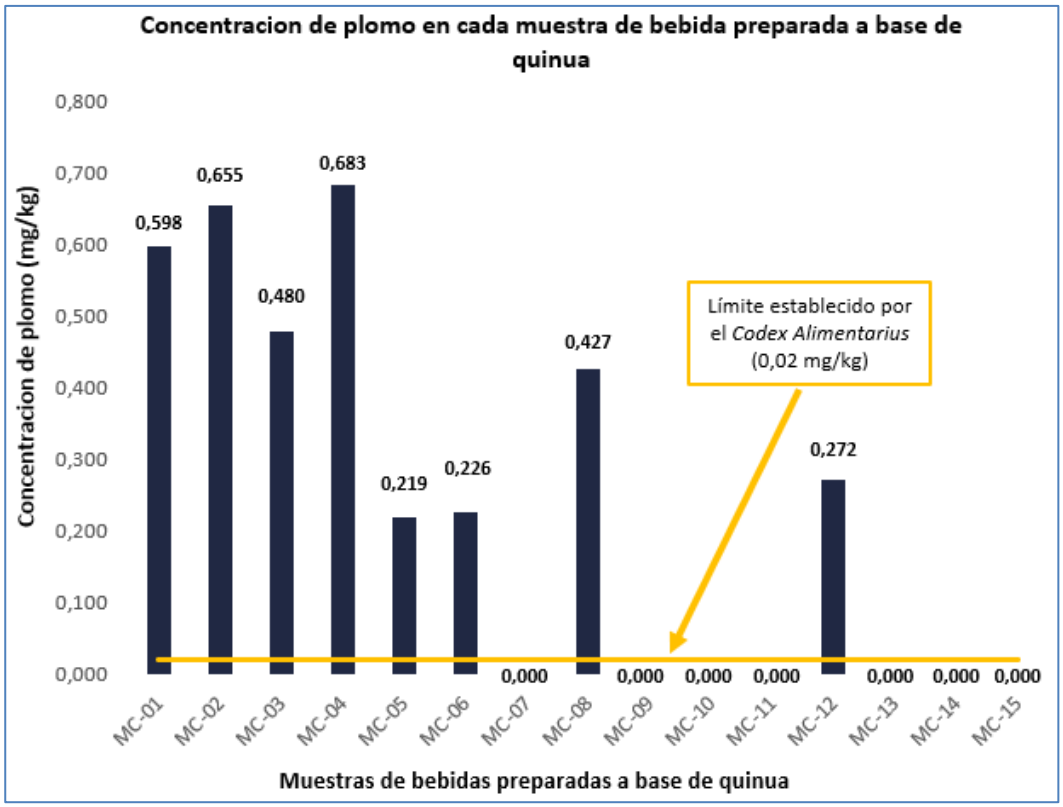


Figura 7. Concentración de plomo en cada muestra de bebida preparada a base de quinua y límite máximo permisible por el *Codex Alimentarius*. Fuente: elaboración propia, junio 2023.

V.1.2 Análisis estadístico

El análisis estadístico se llevó a cabo mediante la prueba *T- student*; para ello, se requirió los datos individuales de las concentraciones del plomo para determinar si hay diferencias significativas entre la media de los datos de concentración con el límite máximo permisible que es 0,020 mg/kg.

Tabla 8. Prueba *T - student* para las concentraciones de plomo

Prueba T - student	
Valor de T	3,159
Grados de libertad	14,000
Significancia (p)	0,007
Valor de la prueba	0,020
Ic 95%	[0,070; 0,365]

Dado que el valor de p (0,007) es menor a 0,020, se presenta diferencias significativas entre el valor de la media de las concentraciones (0,237 mg/kg) y el límite máximo permisible (0,020 mg/kg) según el *Codex Alimentarius*.

V.1.3 Evaluación del riesgo toxicológico

A) Dosis de exposición

Tabla 9. Valores para determinar la dosis de exposición del plomo

Concentración del tóxico	Tasa de ingesta	Factor de exposición	Peso corporal
0,237 mg/kg	0,500 mg/día	1	70 kg

$$DE = \frac{0{,}237\frac{mg}{kg} x \frac{0{,}5 mg}{dia} x\ 1\ x \frac{10^{-6} kg}{g}}{70\ kg} = \mathbf{0{,}169 \times 10^{-8}\ mg/kg/día}$$

B) Cociente de peligro (HQ)

DRF = 0,0035 mg/kg/día

$$\mathbf{HQ} = \frac{\frac{0{,}169 x 10^{-8} mg}{kg}/dia}{0{,}0035\frac{mg}{kg}/dia} = \mathbf{0{,}482 \times 10^{-6}}$$

El cociente de peligro resultó ser menor a 1; por ello, se considera que no se esperan efectos adversos.

C) Margen de exposición

$$ME = \frac{250\frac{mg}{kg}/dia}{0{,}169\ x\ 10^{-8}\frac{mg}{kg}/dia} = \mathbf{14800} \times \mathbf{10^{7}}$$

El margen de exposición resultó ser mayor a 10 000; por ello, se considera que el consumo de bebidas preparadas a base de quinua comercializadas de forma ambulatorias en 3 zonas concurridas de Lima Metropolitana es de baja preocupación para la salud pública.

V.2 Determinación de cadmio

V.2.1 Concentración de cadmio en bebidas preparadas a base de quinua

Tabla 10. Concentración de cadmio en muestras de bebidas preparadas a base de quinua

Codificación de muestras	Concentración de cadmio (mg/kg)
MC-01	0,015
MC-02	0,000
MC-03	0,008
MC-04	0,014
MC-05	0,003
MC-06	0,008
MC-07	0,000
MC-08	0,455
MC-09	0,009
MC-10	0,039
MC-11	0,012
MC-12	0,254
MC-13	0,049
MC-14	0,035
MC-15	0,016

Tabla 11. Media y desviación estándar para las concentraciones de cadmio

N.º Muestras	Media	Desviación estándar	LMP*
15	0,061 mg/kg	0,126	0,050 mg/kg

*LMP: Límite máximo permisible.

De las 15 muestras analizadas, se obtuvo que el 13,300 % (2 muestras) excedieron el límite máximo permisible (0,050 mg/kg) establecido por el *Codex Alimentarius*. En contraste, el 86,700 % de las muestras, que corresponde a las 13 muestras restantes estuvieron dentro del límite máximo permisible (Figura 8).

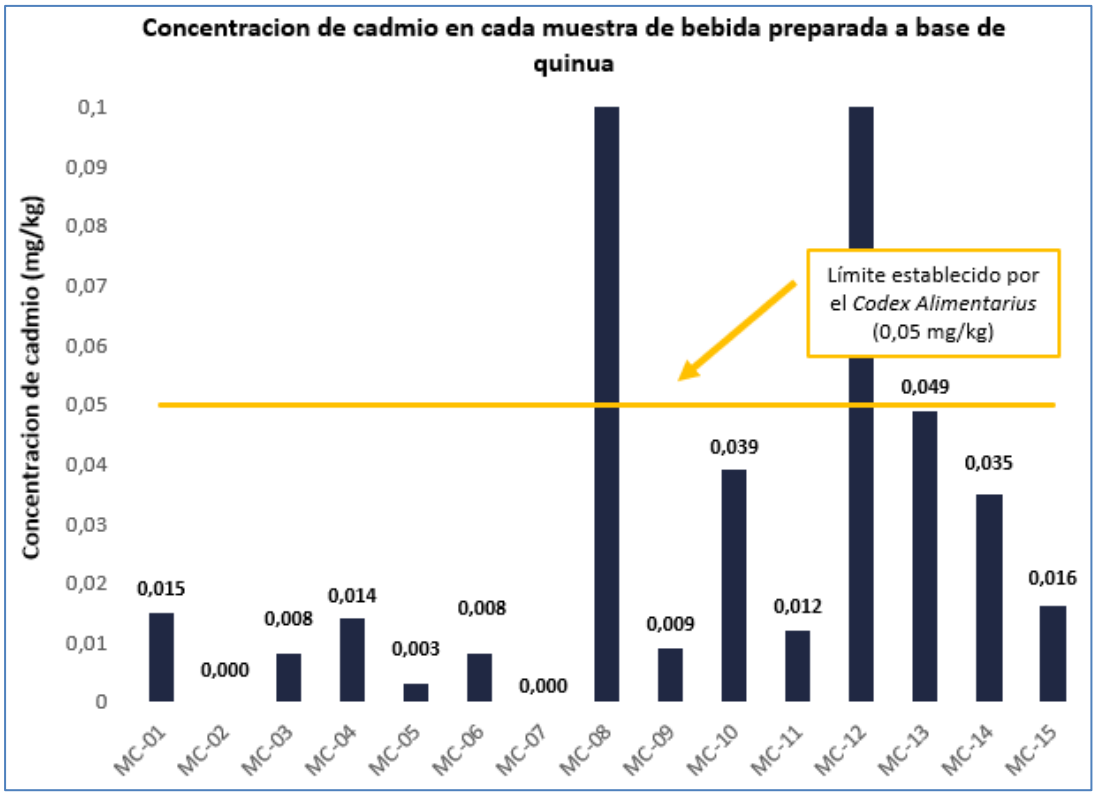


Figura 8. Concentración de cadmio en cada muestra de bebida preparada a base de quinua y límite permitido por el *Codex Alimentarius.* Fuente: elaboración propia, junio 2023.

V.2.2 Análisis estadístico

Tabla 12. Prueba *T - student* para las concentraciones de cadmio

Prueba T - student	
Valor de T	0,343
Grados de libertad	14,000
Significancia (p)	0,737
Valor de la prueba	0,050
Ic 95%	[-0,059; 0,081]

Dado que el valor de p (0,737) es mayor a 0,050, no se presenta diferencias significativas entre el valor de la media de las concentraciones (0,061 mg/kg) y el límite máximo permisible (0,050 mg/kg) según el *Codex Alimentarius*.

V.2.3 Evaluación del riesgo toxicológico

A) Dosis de exposición

Tabla 13. Valores para determinar la dosis de exposición del cadmio

Concentración del tóxico	Tasa de ingesta	Factor de exposición	Peso corporal
0,061 mg/kg	40 x 10^{-3} mg/día	1	70 kg

$$DE = \frac{0{,}061\frac{mg}{kg} x \frac{40x10^{-3}mg}{dia} x\ 1\ x \frac{10^{-6}kg}{g}}{70\ kg} = \mathbf{0{,}349\ x\ 10^{-10}\ mg/kg/día}$$

B) Cociente de peligro (HQ)

DRF = 0,0005 mg/kg/día

$$\mathbf{HQ} = \frac{\frac{0{,}349x10^{-8}mg}{kg}/dia}{0{,}0005\frac{mg}{kg}/dia} = \mathbf{0{,}697\ x\ 10^{-7}}$$

El cociente de peligro resultó ser menor a 1; por ello, se considera que no se esperan efectos adversos.

C) Índice de peligrosidad

HI = 0,482 x 10^{-6} + 0,0697 x 10^{-6} **=** 0,5517 x 10^{-6}

El índice de peligrosidad resultó ser menor a 1; por ello, se considera riesgo combinado aceptable.

C) Margen de exposición

$$ME = \frac{0{,}01\frac{mg}{kg}/dia}{0{,}349\ x\ 10^{-8}\frac{mg}{kg}/dia} = \mathbf{28700\ x\ 10^{4}}$$

El margen de exposición resultó ser mayor a 10 000; por ello, se considera que el consumo de bebidas preparadas a base de quinua comercializadas de forma ambulatoria en 3 zonas concurridas de Lima es de baja preocupación para la salud pública.

VI. DISCUSIÓN

En este estudio, se determinaron los niveles de plomo y cadmio en 15 bebidas preparadas a base de quinua comercializadas de forma ambulatoria en tres zonas de Lima Metropolitana y se evaluó su riesgo toxicológico empleando la metodología de la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) mediante la dosis de exposición, índice de peligrosidad y margen de exposición.

Los resultados indican que el 53,3 % de las muestras superaron el límite máximo permisible de plomo (0,02 mg/kg), establecido por el *Codex Alimentarius*, Asimismo, la prueba T-*Student* mostró una diferencia significativa ($p = 0,007$) entre la media de la concentración de plomo en las muestras analizadas (0,237 mg/kg) y el límite máximo permisible. Sin embargo, la evaluación del riesgo toxicológico mostró que el cociente de peligro fue menor a 1 ($0,482 \times 10^{-6}$) y el margen de exposición mayor a 10 000 ($0,148 \times 10^{12}$), lo que indica que, se considera con baja preocupación para la salud pública. Esto se debe a que el límite máximo permitido tiene un enfoque precautorio para minimizar la exposición a contaminantes en alimentos. Por otro lado, margen de exposición consideran la cantidad real de plomo ingerida en relación a la dosis de referencia, la frecuencia de consumo y la absorción en el organismo; por ello el riesgo de presentar eventos adversos no es significativo[57].

Estos hallazgos coinciden con Huari[65], quien determinó la concentración de plomo y arsénico en el jugo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) por espectroscopia de absorción atómica en Lima Metropolitana. Se encontró que el 95 % de las muestras superaban los límites máximos permisibles establecidos por el *Codex Alimentarius.* La posible fuente de contaminación se atribuyó a las maquinarias utilizadas para exprimir la caña, las cuales pueden liberar plomo debido al desgaste de sus componentes metálicos[78]. De manera

similar, en este estudio, la contaminación por plomo en las bebidas de quinua podría estar relacionada con el uso de tuberías y cañerías deterioradas que transportan agua que se emplea en su preparación. Asimismo, los utensilios metálicos que contienen aleaciones de plomo podrían transferir este metal, especialmente durante la exposición altas temperaturas para la elaboración de la bebida[78,79].

En relación con el cadmio, el 13,3 % de las muestras superaron el límite máximo permitido de 0,050 mg/kg, según el *Codex Alimentarius*. Asimismo, la prueba T-*Student* no mostró una diferencia significativa (p = 0,737) entre la media de las concentraciones de cadmio (0,061 mg/kg) y el límite máximo permitido. La evaluación del riesgo toxicológico mostró que el cociente de peligro fue menor a 1 ($0,689 \times 10^{-11}$), por lo que no se esperan efectos adversos; asimismo, el margen de exposición fue superior a 10 000 ($0,287 \times 10^{7}$), por lo que se considera baja preocupación para la salud pública. Respecto al índice de peligrosidad resultó ser menor a 1 ($0,5517 \times 10^{-6}$); por ello, se considera riesgo combinado aceptable[57].

Estos resultados coinciden con Hualán y Magallanes[60] quienes analizaron bebidas preparadas a base de quinua en Santa Anita, Lima Metropolitana, y determinaron que la concentración promedio de cadmio fue 0,0483 mg/kg, la cual se encuentra debajo del límite máximo permitido. Sin embargo, Alcocer y Huamán[78] analizaron la quinua expendida en mercados de La Victoria en enero 2018 y hallaron que las concentraciones de plomo y cadmio fueron de 0,20 mg/kg y 0,18 mg/kg, respectivamente, las cuales se encuentran por encima del límite máximo permisible. Esto indica que la quinua que se expende en los mercados de Santa Anita presenta una alta contaminación de metales pesados; en consecuencia, la materia prima utilizada en la preparación de las bebidas podría estar contaminada desde su origen[78,79]. Tejada-Purizaca et al.[80] realizó una revisión sobre la acumulación de metales pesados como plomo, cadmio, arsénico y mercurio en productos alimenticios y medicinales en Perú. Se halló que los niveles de plomo y cadmio en alimentos comunes, como la lechuga (*Lactuca sativa*), papas (*Solanum tuberosum*) y productos derivados del cacao (*Theobroma cacao*), a menudo superan los límites máximos permisibles establecidos la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la

normativa nacional. Asimismo, algunos cultivos de lechuga han presentado concentraciones de plomo de hasta 1,5 mg/kg, y en el caso del cadmio, niveles superiores a 0,3 mg/kg en productos como el maíz (*Zea mays*). Estos altos niveles de metales pesados en alimentos pueden atribuirse a diversos factores, como la contaminación del suelo por actividades industriales, el uso de pesticidas contaminados y la polución del agua utilizada para el riego[80].

Asimismo, la presencia de plomo y cadmio en bebidas a base de quinua puede estar relacionada con la contaminación ambiental en los puntos de comercialización. En las zonas con alto tráfico vehicular y peatonal, los metales pesados pueden dispersarse en el aire y depositarse en las superficies donde se almacenan las bebidas o ingresar a los productos. Además, las deficiencias en las prácticas de higiene y limpieza durante la preparación de las bebidas, y el uso de utensilios de cocina y envases de plásticos inadecuados, facilitan la ingesta involuntaria por parte de los consumidores. Estos factores de riesgo, resaltan la necesidad de fortalecer las medidas de control sanitario para minimizar la exposición a metales pesados en estos productos[59,60,78,79].

VII. CONCLUSIONES

1. Se determinó que los niveles de plomo y cadmio en bebidas a base de quinua comercializadas ambulatoriamente en tres zonas de Lima Metropolitana se encuentran dentro de rangos que no representan riesgo toxicológico.
2. Se determinó que los niveles de plomo presentes en bebidas preparadas a base de quinua comercializadas de forma ambulatoria en 3 zonas concurridas de Lima Metropolitana fueron de 0,237 mg/kg ± 0,267.
3. Se determinó que los niveles de cadmio presentes en bebidas preparadas a base de quinua comercializadas de forma ambulatoria en 3 zonas concurridas de Lima Metropolitana fueron de 0,061 mg/kg ± 0,126.
4. Se evaluó el riesgo toxicológico de plomo y cadmio debido al consumo de bebidas preparadas a base de quinua comercializadas de forma ambulatoria en 3 zonas concurridas de Lima Metropolitana. Los resultados indicaron que el margen de exposición para ambos metales corresponde a un nivel de baja preocupación para la salud pública. Asimismo, el índice de peligrosidad calculado para el plomo y el cadmio evidenció un riesgo combinado aceptable para los consumidores

VIII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda informar y concientizar a la población sobre los riesgos potenciales para la salud asociados al consumo de alimentos contaminados con metales pesados, a pesar de que esta investigación no evidencie riesgos significativos. Para ello, es necesario crear material educativo con lenguaje accesible y relevante como infografías, vídeos que describan los riesgos y cómo prevenirlos, y difundirlos a través de:

- Campañas de concientización en redes sociales mediante las plataformas más populares.
- Eventos en comunidades locales mediante charlas, talleres o conferencias en los colegios, hospitales y centros comunitarios.
- Publicidad en medios de comunicación mediante campañas en televisión, radio, periódico.

2. Se recomienda promover buenas prácticas alimenticias tanto a los comerciantes, consumidores como a todas las personas en general. A los comerciantes se les debe instruir sobre cómo preparar los alimentos de manera adecuada para minimizar la contaminación, así como sobre la importancia de elegir productos de fuentes confiables que cuenten con certificaciones y sellos de calidad que garanticen su seguridad. Por otro lado, a los consumidores se les debe educar sobre cómo seleccionar alimentos de lugares seguros, fomentando la conciencia sobre la calidad y seguridad de los productos que adquieren.
3. Se sugiere realizar más estudios sobre la presencia de metales pesados en productos alimenticios, teniendo en cuenta diversos factores que puedan contribuir a su contaminación, y ampliar el universo de la investigación mediante estudios paralelos sobre otros productos. Estos hallazgos deberían publicarse en revistas científicas o plataformas académicas accesibles, para que tanto profesionales como el público en general estén informados sobre los riesgos asociados, respaldando así la necesidad de establecer parámetros específicos que regulen el contenido de metales pesados.
4. Se recomienda que las entidades competentes definan y apliquen normativas para la supervisión de los niveles de metales pesados en alimentos, en especial aquellos comercializados de manera ambulatoria en zonas de alta afluencia.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. García D., Lima LA., Ruíz L., Santana JL., Calderón PA. Agroecosystems with probable health risks due to heavy metal contamination. Rev. Cubana Quím. 2016; 28 (1): 378 - 393.
2. Londoño LF., Londoño PT., Muñoz FG. Risk of heavy metals in human and animal health. Rev. Bio. Agro. 2016; 14 (2): 145 - 153.
3. Reyes YC., Vergara I., Torres OE., Díaz M., Gonzáles EE. Heavy metals contamination: implications for health and food safety. Revista Ingenieria, Investigación y Desarrollo. 2016; 16 (2): 66 - 77.
4. Soto-Benavides M., et al. Health risks due to the presence of heavy metals in agricultural products cultivated in areas abandoned by gold mining in the peruvian amazon. Scientia Agropecuaria. 2020; 11 (1): 49 - 59. DOI: http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.06
5. Vargas S., Marrugo J. Mercury, methylmercury and other heavy metals in fish in Colombia: risk from ingestion. Acta biol. Colomb. 2019; 24 (2): 232 - 242.
6. CODEX. Norma general del *Codex Stand* 193 - 1995, para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos. *Codex Stand* 193 - 1995; 2009.
7. Salas-Marcial C., et al. Sources of lead pollution in food, health effects and prevention strategies. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha. 2019; 20 (1).
8. Correa O., Fuentes F., Coral R. Pollution by heavy metals of the agricultural micro-basin of the Huancaray river – Per. Rev. Soc. Quím. Perú. 2021; 87 (1): 26 - 38.
9. Beltrán M., Gómez A. Heavy metals (cd, cr and hg): impact on environment and possible biotechnological strategies for remediation. Investigación, Innovación, Ingeniería. 2015; 2(2): 82 - 112.
10. Rodríguez A., Cuéllar L., Maldonado G., Suardiaz ME. Efectos nocivos del plomo para la salud del hombre. Revista Cubana de Investigación Biomédicas. 2016; 35 (3): 251 - 271.

11. Pérez PE., Azcona MI. Los efectos del cadmio en la salud. Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas. 2012; 17 (3): 199 - 205.
12. Abellán MS., Barnuevo MD., García C., Contreras CJ., et al. Effect of quinua (*Chenopodium quinoa*) consumption as a coadjuvant in nutritional intervention in prediabetic subjects. Nutr. Hosp. 2017; 34 (5): 1163 - 1169.
13. Remache L., Vargas E. Elaboración de una bebida a base de soya (*Glycine max*) y morocho blanco (*Zea mays* variedad morochon), como una alternativa para consumo de proteína vegetal. [Proyecto de investigación previo a la obtención del Título de Ingeniero Agroindustrial]. Puyo, Ecuador: Universidad Estatal Amazónica; 2020.
14. Huaquipaco S. Elaboración de una bebida nutritiva a partir de quinua (*Chenopodium quinoa*), oca (*Oxalis tuberosa)* y maca (*Lepidium meyenii*). Investigación aplicada: Informe final de investigación. Juliaca: Universidad Nacional de Juliaca; 2019.
15. Domínguez A. Formulación y métodos de conservación de una bebida a partir de la hoja de teberinto (*Moringa oleífera*). [Proyecto de investigación previo a la obtención del Título de Ingeniera de alimentos]. San Salvador: Universidad de El Salvador; 2027.
16. Chilo D. Evaluación de las condiciones de proceso para la elaboración de una bebida fermentada de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) con inclusión de bacterias ácido-lácticas. [Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al Título Magíster en Ciencia y Tecnología de Alimentos]. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia; 2020.
17. Sanjinez A. Estudio y formulación de una bebida no láctea a base de quinua (*Chenopodium quínoa*), avena (*Avena sativa*), y amaranto (*Amaranthus caudatus*). [Proyecto de grado para la obtención del Grado de Licenciatura]. La Paz: Universidad Mayor de San Andrés; 2018.
18. Campos-Rodriguez J., Acosta-Coral K., Paucar-Menacho LM. Quinoa (*Chenopodium quinoa*): Nutritional composition and bioactive compounds of grain and leaf, and impact of heat treatment and germination. Scientia Agropecuaria. 2022; 13 (3): 209 - 220. DOI: http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.019

19. Arroyo E., Barbier G, Orellana CL., Guevara ER., Rubiños E. Producción de bebida de quinua con pulpa de piña y manzana, endulzadas con esencia de estevia. [Trabajo de investigación para optar el Grado Académico de Bachiller]. Lima: Universidad San Ignacio de Loyola; 2017.
20. FAO. Recetario Internacional de la Quinua: Tradición y vanguardia [Internet]. Canadá: FAO; 2014 [Citado 11 de julio del 2024]. Disponible en: https://www.fao.org/4/i3525s/i3525s00.pdf
21. Ángel M. El origen de la quínoa y la historia de su domesticación. Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano. Programa de mejoramiento genético de la quinua; 2016.
22. Vilcacundo R., Hernández-Ledesma B. Nutritional and biological value of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Current Opinion in Food Science. 2017; 14: 1 - 6. DOI: https://doi.org/10.1016/J.COFS.2016.11.007
23. Bazile D., Berbeto D., Nieto C. State of the art report on quinoa around the world in 2013. Roma: FAO y CIRAD; 2014.
24. Flores E., Rodríguez-Huamani R., Arce-Ortiz N., García-Tejada G. Cultura y comportamiento del consumidor de quinua como producto orgánico. Idesia (Arica). 2022; 40(2): 133 - 142. DOI: http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292022000200133
25. ITIS. Integrated taxonomic information system – Report. *Chenopodium quinoa* Willd [internet]. Washington: flora of north America expertise network. 2011 [citado 06 de junio del 2023]. Disponible en: https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt#null
26. Villacrés E., et al. Nutritional value and bioactive compounds of leaves and grains from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Plants (Basel). 2022; 11(2): 213. DOI: https://doi.org/10.3390/plants11020213
27. Hussain MI., Farooq M., Syed QA., Ishaq A., et al. Botany, nutritional value, phytochemical composition and biological activities of quinoa. Plants (Basel). 2021; 10(11): 2258. DOI: https://doi.org/10.3390/plants10112258
28. Ng CY., Wang M. The functional ingredients of quinoa (*Chenopodium quinoa*) and physiological effects of consuming quinoa: A review. 2021; 2 (3): 329 - 356. DOI: https://doi.org/10.1002/fft2.109

29. Vargas P., Arteaga R., Cruz L. Bibliographical analysis about nutritional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa*) as a functional food. Revista Centro Azucar. 2019; 46 (4): 89 - 100.
30. Filho AMM., et al. Quinoa: Nutritional, functional and antinutritional aspects. Critical reviews in food science and nutrition. 2015; 57 (8): 1618 - 1630. DOI:http://www.tandfonline.com/action/showCitFormats?doi=10.1080/10408398.2014.1001811
31. Hupa, Quinua: Semilla sagrada, sustento ancestral. Lima, Perú: Programa conjunto granos andinos; 2015.
32. Hernández J. Quinoa, an option for feeding of the diabetes mellitus patient. Revista cubana de endocrinología. 2015; 26 (3): 304 - 312.
33. Plomo. Protocolos de vigilancia sanitaria específica. Madrid: Comisión de Salud Pública. Consejo Interterritorial del Sistema Nacional de Salud; 1999.
34. Azcona-Cruz MI., Ayala Y., Vicente-Flores G. Efectos tóxicos del plomo. Rev Esp Méd Quir. 2015; 20(1): 72 - 77.
35. Renner R. Algo no está a plomo. Cuando el tratamiento del agua causa contaminación con plomo. Salud Pública de México. 2010; 52 (2): 170-177.
36. Mercado M., et al. Evaluación de los Niveles de Contaminación por Plomo y Arsénico en muestras de Suelos y productos Agrícolas Procedentes de la región cercana al Complejo metalúrgico Vinto. Revista Boliviana de Química. 2009; 26 (2): 101-110.
37. Prieto R. Contaminación ambiental por plásticos durante la pandemia y sus efectos en la salud humana. Revista Colombiana de Cirugía. 2023; 38 (1): 22-29.
38. Muñetón G. et al. Actitudes, hábitos y barreras en el consumo de bebidas empacadas en plásticos en Medellín: análisis mediante modelos multivariados. Sociedad y Economía. 2019; 36: 31-52.
39. Poma PA. Intoxicación por plomo en humanos. Anales de la Facultad de Medicina. 2008; 69(2): 120 - 126.
40. Exposición al plomo. Guía de actuación y diagnóstico de enfermedades profesionales. Argentina: Superintendencia de Riesgos del Trabajo (SRT); 2018.

41. Calabuig G., Villanueva E. Medicina legal y toxicología. 6a ed. Barcelona: Elsevier Masson; 2004.
42. Pájaro N., Maldonado W., Pérez N., Díaz J. Revisión de las implicaciones ocupacionales por exposición al plomo. Informador Técnico. 2013; 77 (2): 183 - 191. DOI: 10.23850/22565035.58
43. Barajas HI., Hernández-Cárabes P., Padilla-Sánchez AJ., Sandoval JAE., Mora CA. Intoxicación por plomo y su impacto en la práctica clínica: artículo de revisión. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar. 2022; 6 (1): 4176 - 4189. DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i1.1792
44. Directriz de la OMS para el tratamiento clínico de la exposición al plomo [WHO guideline for the clinical management of exposure to lead]. Ginebra: Organización Mundial de la Salud; 2022.
45. Ferrer A. Intoxicación por metales. Anales del Sistema Sanitario de Navarra. 2003; 26 (1): 141-153
46. Valdivia M. Intoxicación por plomo. Rev. Soc. Per. Med. Inter. 2005; 18(1): 27.
47. Comisión del *Codex alimentarius.* Documento de debate sobre el cadmio y el plomo en la quinua. Programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias. Comité del Codex sobre contaminantes de los alimentos. FAO/OMS; 2021.
48. Ramírez A. Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental y ocupacional con indicadores biológicos. Anales de la Facultad de Medicina. 2002; 63 (1): 51 - 64.
49. Genchi G., Sinicropi MS., Lauria G., Carocci A., Catalano A. The effects of cadmium toxicity. Int J Environ Res Public Health. 2020; 17(11): 3782. DOI: 10.3390/ijerph17113782
50. Exposición a cadmio y sus compuestos. Guía de actuación y diagnóstico de enfermedades profesionales. Argentina: Superintendencia de Riesgos del Trabajo (SRT); 2019.
51. Guía de práctica clínica para el diagnóstico y tratamiento de la intoxicación por cadmio (R.M N. ° 757-2013/MINSA). Lima: Ministerio de Salud. Dirección general de salud de las personas. Estrategia sanitaria nacional de vigilancia

y control de riesgos por contaminación con metales pesados y otras sustancias químicas; 2015.

52. Juárez-Rebollar D., Méndez-Armenta M. Aspectos funcionales de la metalotioneína en el sistema nervioso central. Arch. Neurocien (Mex). 2014; 19 (1): 34 - 41.
53. Scott-López EH. Las metalotioneínas y el estrés quirúrgico. Rev Educ Bioquímica. 2007; 26 (2): 67 - 72.
54. Gunnar N. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. 3ra ed. Madrid: OIT; 1998.
55. Repetto M., Repetto G. Toxicología fundamental. 4 ed. Sevilla: Díaz de Santos; 2009.
56. Olórtegui D., Ynocente C., García M., Marín G. Evaluación del riesgo toxicológico por exposición a plomo y cadmio en suelos de los alrededores del parque industrial Infantas, Los Olivos. 2020; 23 (2): 9 - 13. DOI: https://doi.org/10.15381/ci.v23i2.19376
57. Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR). Evaluación de riesgos a la salud por exposición a residuos peligrosos. [internet]. Atlanta; 1992 [citado 02 junio 2023]. Disponible en: http://desastres.unanleon.edu.ni/pdf/2002/octubre/pdf/spa/doc11119/doc11119.htm
58. Panta N. y Vera E. Determinación de plomo y calidad microbiológica en jugos de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) comercializados en la ciudad de Guayaquil. [Tesis para optar el Titulo de Químico Farmacéutico]. Guayaquil: Universidad de Guayaquil: Facultad de Ciencias Químicas; 2022.
59. Terrazos S. Determinación de la concentración de plomo y cadmio en bebidas de jugo de naranja comercializadas de forma ambulatoria en Ate Vitarte – Lima y evaluación de su riesgo toxicológico. [Tesis para optar el Titulo de Químico Farmacéutico]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2022.
60. Hualán L., Magallanes J. Determinación de niveles de arsénico y cadmio en bebidas preparadas a base de quinua comercializadas como desayuno en zonas industriales de Santa Anita - Lima Metropolitana [Tesis para optar el

Titulo de Químico Farmacéutico]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2019.

61. López J. Determinación de cadmio y plomo en soya (*Glycine max L*.) en grano, en polvo y líquida comercializada en la ciudad de Guayaquil - Ecuador. [Tesis para obtener el Título de Ingeniero Ambiental]. Guayaquil: Universidad de Guayaquil; 2017.
62. Quishpe K. Determinación microbiológica y de metales pesados en jugos de alfalfa (*Medicago sativa*) usado en la preparación de jugos naturales de fruta, expendidos en los diferentes mercados del distrito metropolitano de Quito. [Tesis para obtener el Título de Ingeniera en biotecnología de los recursos naturales]. Quito: Universidad Politécnica Salesiana; 2016.
63. Verma A., Sharma P., Dhusia N., More N. Determination of heavy metal content in fruits and fruits juices consume in urban areas of Lucknow, India. Int J Food Sci Nutr. 2016; 1 (5):44 - 50.
64. Guzmán C., Rea M. Determinación cuantitativa de plomo y cadmio en zumos de naranja de venta ambulatoria en Cercado de Lima marzo – julio 2015. [Tesis para obtener el Título de Químico Farmacéutico y Bioquímico]. Lima: Universidad Inca Garcilaso De La Vega; 2015.
65. Huanri J. Determinación de plomo y arsénico en jugo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) por espectroscopia de absorción atómica en Lima Metropolitana. [Tesis para optar el Título de Químico Farmacéutico]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2014.
66. Ackah M., Anim AK., Zakaria N., Osei J., et al. Determination of some heavy metal levels in soft drinks on the Ghanaian market using atomic absorption spectrometry method. Environmental monitoring and assessment. 2014; 186 (12): 8499 - 8507.
67. Krejpcio Z., Sionkowski S., Bartela J. Safety of fresh fruits and juices available on the Polish market as determined by heavy metal residues. Polish J Environ Stud. 2005; 14(6): 877 - 81.
68. Castro-Bedriñana J, Chirinos-Peinado D, Ríos-Ríos E, Machuca-Campuzano M, Gómez-Ventura E. Dietary risk of milk contaminated with lead and cadmium in areas near mining-metallurgical industries in the Central

Andes of Peru. Ecotoxicology and Environmental Safety. septiembre de 2021;220: 112382.

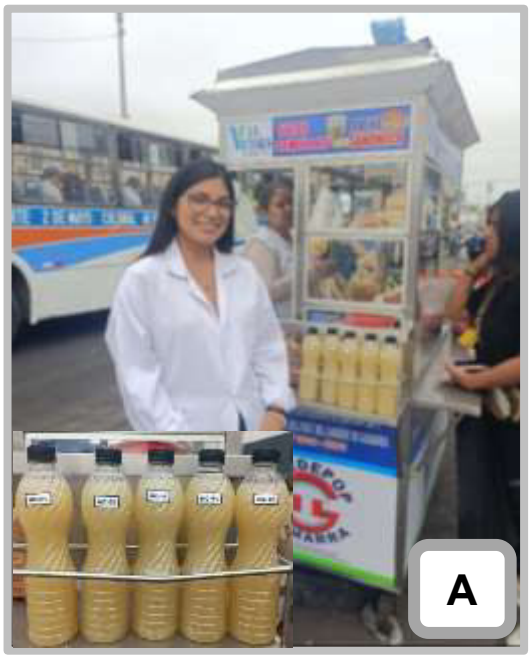
69. Cantoral A, Betanzos-Robledo L, Collado-López S, García-Martínez BA, Lamadrid-Figueroa H, Mariscal-Moreno RM, et al. Lead Levels in the Most Consumed Mexican Foods: First Monitoring Effort. Toxics. mayo de 2024;12(5):318.
70. Chirinos-Peinado D, Castro-Bedriñana J, Rivera-Parco F, Ríos-Ríos E. Lead, Cadmium, and Arsenic in Edible Tissues of Guinea Pigs Raised in the Central Andes of Peru: Potential Human Health Risk? Veterinary Sciences. abril de 2025;12(4):292.
71. *Codex alimentarius.* Alimentos producidos orgánicamente. Programa Conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias. Comisión del *Codex alimentarius*; 2005.
72. Martínez E. Compuestos bioactivos y salud: mitos y realidades. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 2015; 65 (1).
73. Skoog A., Crouch S. Principios de Análisis Instrumental.8ª ed. Madrid: Editorial Mc. Graw Hill; 2001.
74. Rodríguez D. Intoxicación ocupacional por metales pesados. MEDISAN. 2017; 21(12): 3372-3385.
75. Martínez-Villaluenga C., Peñas E., Hernández-Ledesma B. Pseudocereal grains: Nutritional value, health benefits and current applications for the development of gluten-free foods. Food and Chemical Toxicology. 2020; 137: 111178. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111178.
76. Punt A., Peijnenburg A., Hoogenboom R., Bouwmeester H. Non-animal approaches for toxicokinetics in risk evaluations of food chemicals. ALTEX - Alternatives to animal experimentation. 2017; 34 (4): 501 - 514. DOI: 10.14573/altex.1702211.
77. Milton J. Estadística para biología y ciencias de la salud. Madrid: Editorial Mc. Graw Hill; 2001.
78. Alcocer E, Huamán E. Determinación de arsénico, cadmio, plomo y mercurio en quinua (*Chenopodium quinoa*) expendida en los mercados de La Victoria, durante el período de enero del 2018. [Tesis para obtener el Título de

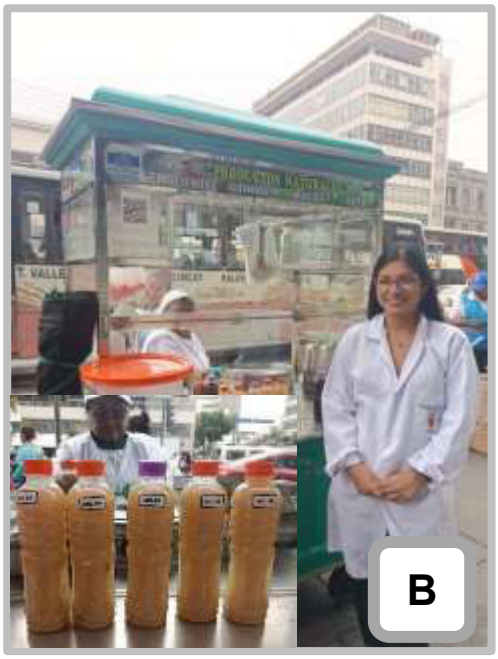
Químico Farmacéutico Y Bioquímico]. Lima: Universidad Norbert Wiener; 2018.

79. Parillo I. Determinación de parámetros y contenido de plomo en insuflados por explosión de diferentes variedades de quinua (*Chenopodium Quinoa* Willd). [Tesis para obtener el Título de Ingeniero de Industrias Alimentarias]. Juliaca: Universidad Nacional de Juliaca; 2021.
80. Tejada-Purizaca TR, Garcia-Chevesich PA, Ticona-Quea J, Martínez G, Martínez K, Morales-Paredes L, et al. Heavy Metal Bioaccumulation in Peruvian Food and Medicinal Products. Foods. enero de 2024;13(5):762.

1. ANEXOS

Anexo 1. Fotografías de recolección de muestras de bebidas preparadas a base de "quinua" comercializadas de forma ambulatorias en 3 zonas concurridas de Lima Metropolitana en el mes de abril del 2023







A. Recolección de muestras preparadas a base de quinua, ubicada en avenida Parinacochas con avenida México (La Victoria).

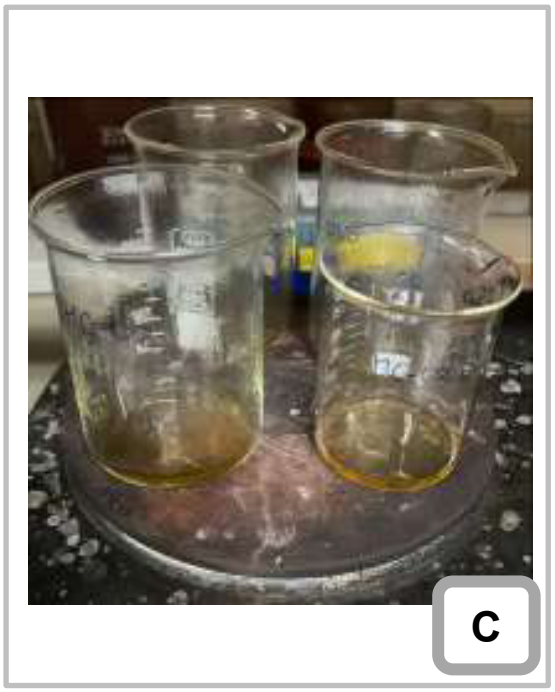
B. Recolección de muestras preparadas a base de quinua, ubicada en avenida Abancay con jirón Cuzco (Cercado de Lima).

C. Recolección de muestras preparadas a base de quinua, ubicada en puente Balta con jirón Amazonas (Cercado de Lima).

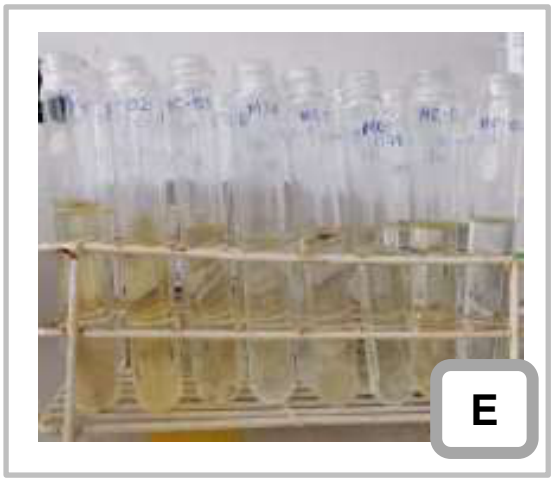
Anexo 2. Proceso de lectura de las muestras en el espectrofotómetro















A. Muestras recolectadas colocadas en orden.

B. Pesaje en un vaso de precipitación de 1 g de cada muestra preparada a base de quinua.

C. Vaso de precipitación en una plancha de calentamiento a 90 °C hasta casi sequedad y posterior inicio de la digestión húmeda de la muestra.

D. Filtración de la muestra con agua ultrapura.

E. Muestras filtradas listar para ser analizadas.

F y G. Proceso de lectura mediante espectrometría de absorción atómica por medio del equipo modelo THERMO SCIENTIFIC Ice 3000 EQUIPADO con horno de grafito.

Anexo 3. Curva de calibración para plomo y cadmio

PLOMO

CICOTOX	FORMATO	CÓDIGO	FOR-CTX-138
		VERSIÓN	0
	REPORTE INTERNO METALES	Página	1 de 1

I. INGRESO DE MUESTRA

Recepcionado por:	Analista Cristina Rosadio Vega		
Fecha de recepción:	19/04/2023	**Hora de recepción:**	12:04:00 p. m.
Analizado por:	Analista María Iris Ochoa Santiago		
Fecha de inicio:	19/04/2023	**Hora de inicio:**	08:00:00 p. m.
Fecha de término:	18/05/2023	**Hora de término:**	02:00:00 a. m.

II. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA

N° de Muestras a analizar	Detalle de muestra		Envase recepcionado	
15	15 Bebidas de quinua		Botellas plasticas	
Códigos	**Muestra**	**Clasificación**	**Análisis**	**Resultados**
96877-96891	Quinua Liquida	Análisis Cuantitativo Metales	Plomo	Cuadro adjunto: Calculos

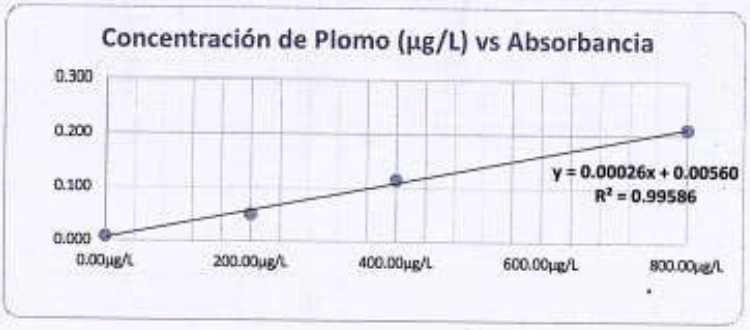
III. PARTE EXPERIMENTAL

Método:	Determinación de Plomo por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Horno de grafito
Carácteristicas:	Espectrofotómetro de Absorción Atómica Solaar | Modelo ICE 3500 | Marca Thermo Scientific
Condiciones:	Longitud de onda 217 nm | Corriente de lámpara: 10 mA. | Correción de fondo: Lámpara de deuterio | Modo Medida: Absorbancia | Rendija: 0,5nm | Ajuste Lineal | Volumen de trabajo: 20 uL

TABLA DE DATOS

Identificación	Concentración	Absorbancia	Pendiente	Intersección	Concentración
Blanco	0.00µg/L	0.008	0.0003	0.005600	-
Estándar 1	200.00µg/L	0.050	0.0003	0.005600	171.90µg/L
Estándar 2	400.00µg/L	0.115	0.0003	0.005600	423.56µg/L
Estándar 3	800.00µg/L	0.211	0.0003	0.005600	795.24µg/L
		0.008	0.0003	0.005600	9.29µg/L

GRAFICO



Realizado por
María Ochoa

Revisado por
Dr. José Apostegui Infantes

CADMIO

CICOTOX	FORMATO	CÓDIGO	FOR-CTX-138
		VERSIÓN	0
	REPORTE INTERNO METALES	Página	1 de 1

I. INGRESO DE MUESTRA

Recepcionado por:	Analista Cristina Rosadio Vega		
Fecha de recepción:	19/04/2023	**Hora de recepción:**	12:04:00 p. m.
Analizado por:	Analista Maria Iris Ochoa Santiago		
Fecha de inicio:	19/04/2023	**Hora de inicio:**	08:00:00 p. m.
Fecha de término:	25/05/2023	**Hora de término:**	12:15:00 p. m.

II. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA

N° de Muestras a analizar	Detalle de muestra		Envase recepcionado	
15	15 Bebidas de quinua		Botellas plasticas	
Códigos	**Muestra**	**Clasificación**	**Análisis**	**Resultados**
96862-96876	Quinua Liquida	Análisis Cuantitativo Metales	Cadmio	Cuadro adjunto: Calculos

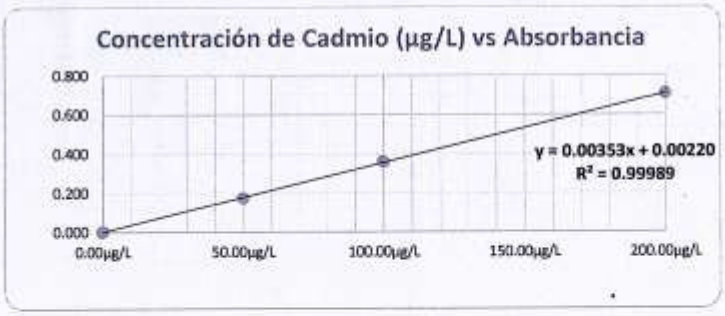
III. PARTE EXPERIMENTAL

Método:	Determinación de Cadmio por Espectrofotometria de Absorción Atómica, Horno de grafito
Carácteristicas:	Espectrofotómetro de Absorción Atómica Solaar | Modelo ICE 3500 | Marca Thermo Scientific
Condiciones:	Longitud de onda 228.8 nm | Corriente de lámpara: 50% | Correción de fondo: Lámpara de deuterio | Modo Medida: Absorbancia | Rendija: 1 nm | Ajuste Lineal | Volumen de trabajo: 20 uL

TABLA DE DATOS

Identificación	Concentración	Absorbancia	Pendiente	Intersección	Concentración
Blanco	0.00µg/L	0.003	0.0035	0.002200	-
Estándar 1	50.00µg/L	0.175	0.0035	0.002200	48.96µg/L
Estándar 2	100.00µg/L	0.359	0.0035	0.002200	101.10µg/L
Estándar 3	200.00µg/L	0.707	0.0035	0.002200	199.71µg/L
		0.003	0.0035	0.002200	0.23µg/L

GRAFICO



Realizado por
María Ochoa

Revisado por
Dr. José Apesteguia Infantes

Anexo 4. Protocolo de análisis para determinación de plomo y cadmio

PLOMO

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°	96877	-	96891

PROTOCOLO DE ANÁLISIS TOXICOLÓGICO

SOLICITANTE: Marjorie Marina Chavez Borda

TESIS: Determinación del nivel de plomo y cadmio en bebidas preparadas a base de quinua comercializada de forma ambulatoria en 3 zonas concurridas de Lima Metropolitana y evaluación de su riesgo toxicológico.

FECHA DE RECEPCIÓN: 19 DE ABRIL DE 2023 **HORA:** 12:04:00 p. m.
FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 19 DE ABRIL DE 2023 **HORA:** 09:00:00 p. m.
FECHA DE TÉRMINO DE ANÁLISIS: 18 DE MAYO DE 2023 **HORA:** 02:00:00 a. m.

MÉTODOS: Plomo : Espectrofotometría de Absorción Atómica por Horno de Grafito
OBSERVACIONES: La contramuestra será descartada a los 30 días posteriores al análisis.

N° ANÁLISIS	MUESTRA	ANÁLISIS CUANTITATIVO	RESULTADO
96877	Bebida líquida Quinua - Código: MC-01	Cuantificación de Plomo	0.598 mg/Kg
96878	Bebida líquida Quinua - Código: MC-02	Cuantificación de Plomo	0.655 mg/Kg
96879	Bebida líquida Quinua - Código: MC-03	Cuantificación de Plomo	0.480 mg/Kg
96880	Bebida líquida Quinua - Código: MC-04	Cuantificación de Plomo	0.683 mg/Kg
96881	Bebida líquida Quinua - Código: MC-05	Cuantificación de Plomo	0.219 mg/Kg
96882	Bebida líquida Quinua - Código: MC-06	Cuantificación de Plomo	0.226 mg/Kg
96883	Bebida líquida Quinua - Código: MC-07	Cuantificación de Plomo	N.D.
96884	Bebida líquida Quinua - Código: MC-08	Cuantificación de Plomo	0.427 mg/Kg
96885	Bebida líquida Quinua - Código: MC-09	Cuantificación de Plomo	N.D.
96886	Bebida líquida Quinua - Código: MC-10	Cuantificación de Plomo	N.D.
96887	Bebida líquida Quinua - Código: MC-11	Cuantificación de Plomo	N.D.
96888	Bebida líquida Quinua - Código: MC-12	Cuantificación de Plomo	0.272 mg/Kg
96889	Bebida líquida Quinua - Código: MC-13	Cuantificación de Plomo	N.D.
96890	Bebida líquida Quinua - Código: MC-14	Cuantificación de Plomo	N.D.
96891	Bebida líquida Quinua - Código: MC-15	Cuantificación de Plomo	N.D.

N.D.: No Detectable

Lima, 18 de mayo de 2023.

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

Analista de CICOTOX
Bach. Tox. María Ochoa Santiago

CADMIO

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°	96862	-	96876

PROTOCOLO DE ANÁLISIS TOXICOLÓGICO

SOLICITANTE: Marjorie Marina Chavez Borda

TESIS: Determinación del nivel de plomo y cadmio en bebidas preparadas a base de quinua comercializada de forma ambulatoria en 3 zonas concurridas de Lima Metropolitana y evaluación de su riesgo toxicológico.

FECHA DE RECEPCIÓN: 19 DE ABRIL DE 2023 **HORA:** 12:04:00 p. m.
FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 19 DE ABRIL DE 2023 **HORA:** 09:00:00 p. m.
FECHA DE TÉRMINO DE ANÁLISIS: 25 DE MAYO DE 2023 **HORA:** 12:15:00 p. m.

MÉTODOS: Cadmio : Espectrofotometría de Absorción Atómica por Horno de Grafito
OBSERVACIONES: La contramuestra será descartada a los 30 días posteriores al análisis.

N° ANÁLISIS	MUESTRA	ANÁLISIS CUANTITATIVO	RESULTADO
96862	Bebida líquida Quinua - Código: MC-01	Cuantificación de Cadmio	0.015 mg/Kg
96863	Bebida líquida Quinua - Código: MC-02	Cuantificación de Cadmio	N.D.
96864	Bebida líquida Quinua - Código: MC-03	Cuantificación de Cadmio	0.008 mg/Kg
96865	Bebida líquida Quinua - Código: MC-04	Cuantificación de Cadmio	0.014 mg/Kg
96866	Bebida líquida Quinua - Código: MC-05	Cuantificación de Cadmio	0.003 mg/Kg
96867	Bebida líquida Quinua - Código: MC-06	Cuantificación de Cadmio	0.008 mg/Kg
96868	Bebida líquida Quinua - Código: MC-07	Cuantificación de Cadmio	N.D.
96869	Bebida líquida Quinua - Código: MC-08	Cuantificación de Cadmio	0.455 mg/Kg
96870	Bebida líquida Quinua - Código: MC-09	Cuantificación de Cadmio	0.009 mg/Kg
96871	Bebida líquida Quinua - Código: MC-10	Cuantificación de Cadmio	0.039 mg/Kg
96872	Bebida líquida Quinua - Código: MC-11	Cuantificación de Cadmio	0.012 mg/Kg
96873	Bebida líquida Quinua - Código: MC-12	Cuantificación de Cadmio	0.254 mg/Kg
96874	Bebida líquida Quinua - Código: MC-13	Cuantificación de Cadmio	0.049 mg/Kg
96875	Bebida líquida Quinua - Código: MC-14	Cuantificación de Cadmio	0.035 mg/Kg
96876	Bebida líquida Quinua - Código: MC-15	Cuantificación de Cadmio	0.016 mg/Kg

N.D.: No Detectable

Lima, 26 de mayo de 2023.

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

Analista de CICOTOX
Bach. Tox. María Ochoa Santiago

Anexo 5. Análisis estadístico para concentraciones de plomo y cadmio

T - student para el plomo

Prueba para una muestra

	Valor de prueba = 0.02					
					95% de intervalo de confianza de la diferencia	
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Inferior	Superior
Concentracion	3,159	14	0,007	0,2173333	0,069777	0,364890

T - student para el cadmio

Prueba para una muestra

	Valor de prueba = 0.05					
					95% de intervalo de confianza de la diferencia	
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Inferior	Superior
Concentracion	0,343	14	0,737	0,0111333	-0,058549	0,080816