

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ciencias de la Vida

Presencia de metales traza en la dieta según los alimentos de mayor consumo en la
ciudad de Guayaquil

VIDA-378

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Licenciada en Nutrición y Dietética

Presentado por:

Andrea Carolina Loyola Chávez

Giovanna Fiorella Nicola García

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

Agradecimientos

Ha sido una dicha llegar a la culminación de este trabajo y este logro se debe en gran parte al apoyo y guía de las personas que estuvieron en el camino. Agradezco a mis padres, Ana y Jorge, quienes han sido el pilar de mi vida y mi amparo en momentos difíciles, y con su creencia inquebrantable, me han motivado siempre a seguir adelante. A Giovanna, mi compañera y amiga inseparable desde que comenzamos nuestra trayectoria universitaria, gracias por compartir este momento importante de nuestras vidas y ser un apoyo incondicional. A mis amigos, Cesia, Emily, Helen, Laura, María J., José, Juan, gracias por siempre estar. A Víctor, gracias por tu amor y motivación constantes. Y mi más profunda gratitud a mis maestras, MsC. Gabriela Cucalón y MsC. Valeria Guzmán, por su infinita paciencia, guía y dedicación en el desarrollo de este proyecto.

Andrea Loyola

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco el apoyo de mi familia, mi mamá, mi papá, mi hermana y mi abuelita, quienes me motivaron durante todo este proceso, sin ellos, no hubiera logrado continuar. También quisiera expresar mi gratitud hacia mi compañera de tesis y mi amiga incondicional desde el primer semestre, Andrea, con quien tuve la dicha de hacer esta tesis. Además, estoy agradecida por las maravillosas amigas que me han acompañado: Emily, Doménica, Paula, Allison, Isabelle, Mayerli y Cesia.

Agradezco enormemente a mis profesoras, MsC. Gabriela Cucalón y MsC. Valeria Guzmán, por los consejos, las enseñanzas y el apoyo. Por último, quisiera agregar en este espacio a mi perrito, Luca, por brindarme su compañía cuando me quedaba hasta altas horas de la noche y por alegrar mis días.

Giovanna Nicola

Declaración Expresa

Nosotros Andrea Carolina Loyola Chávez y Giovanna Fiorella Nicola García acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique a los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 7 de octubre del 2024.


Andrea Loyola


Giovanna Nicola

Evaluadores

Valeria Johanna Guzmán Jara

María Gabriela Cucalón Ramírez

Resumen

La contaminación de alimentos por metales pesados supone un riesgo importante para la inocuidad alimentaria, afectando a la salud de los consumidores a largo plazo. Ecuador ha atravesado varias alertas por presencia de metales pesados en alimentos de consumo masivo y, en los últimos años, se han reportado varios casos de intoxicación por metales pesados en la ciudad de Guayaquil. El presente proyecto tiene como objetivo analizar la exposición a metales traza en la dieta de los guayaquileños mediante la recolección de datos sobre la frecuencia y cantidad de consumo, para la evaluación del riesgo potencial en la salud de la población a largo plazo. Se realizaron encuestas de frecuencia de consumo de alimentos en los supermercados de los sectores populares de Guayaquil y, posteriormente, se estimó la ingesta promedio de metales pesados a partir de los 10 alimentos de consumo diario, con el fin de calcular el cociente de riesgo (HQ). En base al análisis de resultados y una revisión bibliográfica, cuatro metales pesados excedieron los límites permitidos de consumo, sin embargo, según el HQ, el AI representa un riesgo potencial en la salud a largo plazo.

Palabras clave: Cociente de riesgo, contaminación, metales pesados, salud.

Abstract

Food contaminated by heavy metals poses a significant risk to food safety, with long-term consequences for consumers' health. Ecuador has gone through several alerts due to the presence of heavy metals in mass consumption foods and, in recent years, several cases of heavy metal poisoning have been reported in the city of Guayaquil. The objective of this study is to analyze the exposure to trace metals in the diet of Guayaquil residents by collecting data about the frequency and amount of food consumption, in order to evaluate the potential health risk of the population in the long term. Food frequency questionnaires were conducted in supermarkets from popular sectors of Guayaquil and, subsequently, the average intake of heavy metals was estimated from the 10 food items of daily consumption, to calculate the Hazard Quotient (HQ). Based on the analysis of results and a literature review, four heavy metals exceeded the permitted consumption limits; however, according to the HQ, Al represents a potential long-term health risk.

Keywords: Hazard quotient, contamination, heavy metals, health

Índice general

Resumen.....	I
<i>Abstract</i>	II
Abreviaturas.....	V
Simbología.....	VI
Índice de figuras.....	VII
Índice de tablas	VIII
Capítulo 1.....	1
1.1. Introducción	2
1.2. Descripción del problema	3
1.3. Justificación del problema	4
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	5
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	5
1.5. Marco teórico.....	5
1.5.1. Minerales en los alimentos: ¿Qué nos dice la normativa?	6
1.5.2. Mecanismo de acción de los metales pesados	7
1.5.3. Señales de alerta.....	9
1.5.4. Alimentos de mayor consumo en los mercados de Guayaquil	10
Capítulo 2.....	12
2. Metodología	13
2.1. Alternativa de solución de problema	13
2.2. Procedimiento	13
2.2.1. Encuestas.....	13
2.2.2. Análisis de datos	14

2.3. Descripción del producto	15
Capítulo 3.....	17
3. Resultados y análisis	18
3.1. Supermercados.....	18
3.1.1. Distribución geográfica.....	18
3.1.2. Resultados de las encuestas	19
3.1.3. Resultados de consumo diario por alimento	21
3.2. Estimación de exposición de metales traza y caracterización del riesgo.....	22
3.2.1. Prácticas alimentarias para mitigar la ingesta de metales pesados	26
3.2.2. Cálculo del cociente de riesgo (HQ).....	28
3.3. Análisis del producto	29
3.3.1. Prototipo.....	31
Capítulo 4.....	32
4. Conclusiones y recomendaciones	33
4.1. Conclusiones	33
4.2. Recomendaciones.....	34
Referencias.....	35
Apéndice A	47
Apéndice B.....	48
Apéndice C.....	49

Abreviaturas

ARCSA	Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria
ATSDR	Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades
EFSA	Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria
EPA	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos
FDA	Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos
INEN	Servicio Nacional de Normalización
JECFA	Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios
MSP	Ministerio de Salud Pública
MERCOSUR	Mercado Común del Sur
ROS	Especies Reactivas de Oxígeno
UL	Límite Máximo Permitido
VDR	Valor Diario Recomendado

Simbología

Al	Aluminio
As	Arsénico
B	Boro
Ca	Calcio
Cd	Cadmio
Co	Cobalto
Cu	Cobre
Hg	Mercurio
K	Potasio
Mg	Magnesio
Mn	Manganeso
Na	Sodio
Ni	Níquel
P	Fósforo
Pb	Plomo
Zn	Zinc

Índice de figuras

Figura 1	18
Figura 2	20
Figura 3	24
Figura 4	26
Figura 5	31

Índice de tablas

Tabla 1 7

Tabla 2 7

Tabla 3 19

Tabla 4 20

Tabla 5 21

Tabla 6 22

Tabla 7 22

Tabla 8 28

Capítulo 1

1.1. Introducción

Aquellos elementos que poseen un peso atómico superior a 63.5 se denominan metales pesados o metales trazas, siendo los más conocidos: plomo, cadmio, arsénico, níquel, mercurio, entre otros. El avance industrial, el uso indiscriminado de sustancias químicas en el sector agrícola y el aumento del tráfico vehicular son algunos de los factores que afectan la inocuidad alimentaria, la salud de la población y las diversas fuentes de alimento, resultando en la contaminación de alimentos de consumo diario como leche, condimentos, vegetales, mariscos y carnes. Como consecuencia de factores como la bioacumulación en fuentes de agua y la movilidad (Scutarasu & Trinca, 2023).

Principalmente, la exposición humana a estos metales pesados se produce por medio de la ingesta de vegetales, representado alrededor del 90% del consumo total. Las otras vías equivalen al 10% e incluyen el contacto con la piel y la inhalación. Factores como la concentración de estos elementos en los alimentos y la duración de la exposición, aumentan el riesgo de afecciones a la salud (Mitra, y otros, 2022).

Por lo general, el proceso es el mismo, los suelos contaminados por metales pesados son el punto de partida porque los vegetales son acumuladores y excluidores de estos elementos, por lo que se acumulan en varios tejidos de los vegetales, incluyendo las partes comestibles (Manzoor, Sharma, & Ahmad, 2018). A continuación, estos alimentos acaban en las mesas de los consumidores y, así, tras la ingesta se aumenta el riesgo de bioacumulación, que ocurre cuando la absorción de contaminantes supera la tasa de eliminación (Darlington, Onyeaka, Miri, & Ugwa, 2023).

Según la Organización Mundial de la Salud, estos elementos representan una de las principales causas de enfermedades transmitidas por los alimentos en la actualidad. A largo

plazo, el consumo frecuente de alimentos contaminados con metales pesados puede desencadenar enfermedades tales como Parkinson, Alzheimer, distrofia muscular e inclusive cáncer. La toxicidad ocurre por medio de mecanismos que afectan la respiración celular, el sistema nervioso central, entre otras afecciones que provocan daños en diversos órganos, alteraciones en el funcionamiento del sistema nervioso y niveles reducidos de energía (Navarrete, Morales , Dominguez, José, & Marín, 2019).

En Ecuador, las normativas INEN y el Codex Alimentarius son dos de los principales reglamentos que pretenden precautelar la seguridad alimentaria de los ecuatorianos. Sin embargo, continúa siendo un problema vigente y, por ejemplo, tras el análisis de alimentos provenientes de diversas regiones del país, se evidenció contaminación por metales pesados en muestras de papa, zanahoria, aguacate, arroz, etc (Benavides, Romero, Pérez, & Pernía, 2022).

1.2. Descripción del problema

La presencia de metales pesados en los alimentos supone un riesgo importante para la salud de los consumidores, especialmente para grupos de mayor cuidado (OMS, 2020). En los últimos años, Ecuador ha atravesado varias alertas por la presencia de altos niveles de metales pesados en alimentos de consumo regular (ARCOSA, 2023). Según el MSP, se identificó un total de 31 casos de intoxicación por plomo, siendo Guayaquil la ciudad con la mayoría de los casos (El Universo, 2024).

El consumo de productos contaminados con metales pesados, que supere la ingesta diaria admisible, puede provocar problemas de salud como enfermedades renales o daños neurológicos (UDLA, 2024) (OMS, 2020). Varios estudios han observado que en la agricultura ecuatoriana hay presencia de metales traza como As, Cd, Pb y Hg, representando un riesgo para la salud y la

inocuidad alimentaria (Romero Estévez, Yáñez Jácome, & Navarrete, 2023) (Benavides, Romero, Pérez Almeida, & Pernía, 2022).

Por lo tanto, conocer la exposición a estos alimentos contaminados es de suma importancia para identificar el riesgo potencial en la población guayaquileña. La evidencia actual sobre los alimentos más consumidos en Guayaquil es limitada y variable, siendo este un aspecto que se debe evaluar para determinar si existe un alto riesgo para la salud por factores como la concentración de metales pesados y/o la frecuencia de consumo de un alimento contaminado. Además, la identificación de los alimentos que consumen diariamente los guayaquileños permite escoger aquellos alimentos que, en teoría, podrían resultar perjudiciales según el contenido de metales traza.

1.3. Justificación del problema

Asegurar la inocuidad alimentaria es clave debido a que asegura el acceso a alimentos nutritivos y seguros, ayudando a mantener una vida saludable, principalmente para grupos de alto riesgo como niños, embarazadas y adultos mayores (OMS, 2024).

Los metales pesados en alimentos pueden causar problemas de salud importantes en cualquier etapa de la vida; si bien es cierto, algunos de estos elementos forman parte de procesos del cuerpo humano, no obstante, otros metales pesados han sido clasificados como perjudiciales para la salud humana según la ATSDR (Kumar Rai, Lee, Zhang, Tsang, & Kim, 2019). Entre las consecuencias principales de la biomagnificación y acumulación de los metales pesados en el organismo se encuentran la carcinogénesis, disfunción renal, desequilibrios en el sistema inmune e incluso la muerte (Sarker, y otros, 2021).

1.4. Objetivos

1.4.1. *Objetivo general*

Analizar la exposición a metales traza en la dieta de los guayaquileños mediante la recolección de datos sobre la frecuencia y cantidad de consumo, para la evaluación del riesgo potencial en la salud de la población a largo plazo.

1.4.2. *Objetivos específicos*

1. Reconocer los metales traza que exceden los límites de consumo diario referenciales, mediante la estimación de su aporte según los análisis de laboratorio.
2. Identificar los factores que intervienen en la absorción de los metales traza en el cuerpo humano, para el análisis del riesgo de intoxicación.

1.5. Marco teórico

La inocuidad de los alimentos se refiere a la sanidad o higiene de los alimentos durante toda la cadena alimentaria (desde la producción hasta su consumo) (Naciones Unidas, 2024) y, por ende, representa un aspecto importante para una vida saludable. La contaminación de los alimentos por microorganismos o sustancias químicas es causa de más de 200 enfermedades que afectan a toda la población. Las sustancias químicas son una de las principales causas de enfermedades transmitidas por alimentos, las cuales abarcan toxinas naturales, contaminantes orgánicos y metales pesados (OMS, 2024).

La contaminación por metales pesados en alimentos se puede dar como resultado de la acumulación de sustancias químicas en el suelo, agua o atmósfera debido a su uso en la agricultura, la industria o emisiones. La exposición humana a estos contaminantes se puede dar

por la ingesta de alimentos o agua contaminados, o, contacto con el medio ambiente (EFSA, 2024).

1.5.1. Minerales en los alimentos: ¿Qué nos dice la normativa?

El cuerpo humano necesita diversos nutrientes para mantener todas las funciones vitales, tanto macronutrientes y micronutrientes. El segundo grupo incluye minerales y vitaminas requeridas en cantidades mínimas para procesos enzimáticos, transcripción genética, regulación del estrés oxidativo, etc. Los minerales son micronutrientes inorgánicos que intervienen en diversos procesos e incluyen: Na, K, Ca, P, Fe, etc (Espinosa & Gonzalez, 2023).

Algunos metales pesados, en pequeñas cantidades, son necesarios para el ser humano tales como Zn, Fe, Cu y Mn. Sin embargo, existen metales traza que suponen un riesgo para la salud porque no cumplen un rol biológico en el cuerpo humano y elevadas concentraciones pueden ocasionar serios problemas. Dentro de este grupo se encuentran: Pb, As, Cd, Hg y Tl (Fisher & Gupta, 2024).

Mediante estudios y observaciones, se han logrado establecer límites o cantidades máximas de metales pesados que el cuerpo humano puede tolerar, denominándose niveles máximos de ingesta tolerables. La exposición a estas cantidades, en teoría, no representa un riesgo para la salud en la población en general porque son biológicamente tolerables, sin embargo, si se exceden estos niveles, el riesgo de efectos adversos incrementa notablemente y existen metales pesados que pueden ocasionar la muerte en proporciones pequeñas como el Talio como se muestra en la Tabla 2 (EFSA, s.f.).

Tabla 1*Ejemplos de metales traza con rol biológico*

Metales pesados con rol biológico	Ingesta máxima tolerable
Cobre	10 mg/día
Hierro	40 mg/día
Manganeso	8 mg/día
Zinc	40 mg/día

Nota. Valores obtenidos de EFSA, NIH**Tabla 2***Ejemplos de metales traza sin rol biológico*

Metales pesados sin rol biológico	Ingesta máxima tolerable
Cadmio	58.1 µg/día para 70 kg de peso
Mercurio	4 µg/kg/semana
Plomo	No aplica
Talio	8 mg/kg (puede causar la muerte)

Nota. Valores obtenidos de Archives of Toxicology, NIH, WHO**1.5.2. Mecanismo de acción de los metales pesados**

La intoxicación por metales pesados es la acumulación de los metales en tejidos blandos a partir de su contacto, provocando que se interrumpan los procesos naturales del cuerpo humano, causando síntomas que pueden comprometer la vida. Productos de uso común como baterías, pintura o cosméticos pueden contener As, Cd, Co, Hg o Pb, así como alimentos o medicinas (Cleveland Clinic, 2022) (FDA, 2022). La exposición continua a este tipo de productos contaminados, así como profesiones que involucren la manipulación de metales, pueden resultar en intoxicación (Rajkumar, Lee, & Gupta, 2023).

En los estudios realizados sobre metales pesados, se ha observado que el metabolismo de toxicidad de los metales pesados utiliza varias vías como la síntesis de ROS o inactivación enzimática (Balali, Naseri, Tahergorabi, Reza, & Sadeghi, 2021), y, como consecuencia, se produce un alto estrés oxidativo y la inhibición de rutas metabólicas importantes (Abd Elnabi, y otros, 2023). El As se absorbe principalmente en el intestino delgado, y se distribuye en varios órganos importantes, los cuales lo pueden convertir en metabolitos menos tóxicos que se excretan en la orina. No obstante, el As inorgánico es un potencial inhibidor del grupo sulfhidrilo, presente en enzimas y sustratos vitales para procesos de producción de ATP, resultando en daño celular (Balali, Naseri, Tahergorabi, Reza, & Sadeghi, 2021).

El Pb interfiere con varios sistemas y órganos del cuerpo como el sistema nervioso, cardiovascular, hematopoyético, los riñones, huesos, entre otros, convirtiéndolo en uno de los metales pesados más peligrosos. El estrés oxidativo es el principal mecanismo de acción del Pb, debido al aumento de ROS y la disminución de enzimas antioxidantes, principalmente, del glutatión; estas alteraciones producen daño celular y eventualmente, muerte celular, así como inflamación, disfunción mitocondrial y orgánica (Flora, Gupta, & Tiwari, 2012).

Por otro lado, el Cd tiene una gran afinidad hacia compuestos con cisteína. La toxicidad por Cd, que ha sido estudiada, es causada por su unión con una proteína llamada metalotioneína, y este complejo resulta en la acumulación de Cd en hígado y riñones, provocando hepato y nefrotoxicidad, cuando hay una exposición prolongada de dicho metal (Jaishankar, Tseten, Anbalagan, Mathew, & Beeregowda, 2014).

Finalmente, el Hg se encuentra presente en varias formas, las cuales son absorbidas y acumuladas fácilmente en membranas y tejidos como los del intestino o los pulmones; cabe destacar que el cerebro es el órgano de interés cuando se habla de toxicidad por Hg (Bernhoft,

2011). Al igual que otros metales pesados, el Hg se une a los grupos sulfhidrilo y selenohidrilo presentes en compuestos de interés en rutas metabólicas, produciendo estrés oxidativo, daño celular y eventualmente, muerte celular. Asimismo, este interfiere con la señalización celular debido a la alteración de la función de los canales iónicos y receptores celulares y, por último, disfunción mitocondrial (Jaishankar, Tseten, Anbalagan, Mathew, & Beeregowda, 2014).

1.5.3. Señales de alerta

La presencia de metales pesados en alimentos de origen ecuatoriano ha sido analizada en varios estudios, encontrando elementos como As, Cd, Pb y Hg, los cuales han excedido los límites máximos permitidos por la FDA (Romero Estévez, Yáñez Jácome, & Navarrete, 2023).

Por ejemplo, en muestras de aguacate cultivado en Ambato se encontraron elevadas concentraciones de As. En promedio, los niveles alcanzaron 19.76 mg/kg, mientras que como máximo se permite 0.3 mg/kg según MERCOSUR. Además, en muestras de tomate y lechuga provenientes de Quito, se reportaron cantidades que sobrepasaban el límite máximo admisible de Cd, en promedio 2.21 mg/kg y 0.76 mg/kg, respectivamente, superando los niveles máximos según el Codex Alimentarius 0.05 mg/kg (tomate) y 0.2 mg/kg (lechuga) (Benavides, Romero, Pérez, & Pernía, 2022).

Existen varios factores que pueden aumentar el riesgo de intoxicación por metales pesados como edad, estado nutricional, cantidad, duración de la exposición, etc. (Rajkumar, Lee, & Gupta, 2023). Los signos y síntomas pueden variar dependiendo del metal o los metales, por ejemplo, la toxicidad aguda por arsénico se manifiesta por medio de sintomatología gastrointestinal, hipotensión, edema pulmonar e inclusive una condición llamada arsenicosis, caracterizada por lesiones hipopigmentadas cutáneas que aparecen en el tronco y extremidades, melanosis, hiperqueratosis en las manos, etc (Carvalho & Dinis, 2023).

En el caso del plomo, la intoxicación ocasiona anemia, dolor abdominal, depósitos de color azul/morado en las encías (línea de Burton) e incluso falla renal. Por otro lado, la intoxicación aguda por cobre provoca sabor metálico en la boca, falla orgánica, molestias gastrointestinales y, cuando este metal se acumula en la córnea, a largo plazo, es posible ver en los pacientes una coloración verde, café o amarilla alrededor de la córnea (anillo de Kayser-Fleischer). Los signos y síntomas que se presentan en el caso del mercurio son diversas e incluyen: disnea, astenia, escalofríos, molestias gastrointestinales, entre otros (Carvalho & Dinis, 2023).

1.5.4. Alimentos de mayor consumo en los mercados de Guayaquil

La dieta de los guayaquileños consta de una variedad de productos debido a su diversidad gastronómica, la cual es consumida de manera habitual. Según los resultados del proyecto “Análisis de metales traza en alimentos de alto consumo en mercados del Municipio de Guayaquil”, los diez alimentos más consumidos basados en encuestas realizadas a 219 usuarios son el arroz blanco (88,1%), la cebolla roja o perla (76,7%), el tomate (72,6%), el limón (71,2%), el pimiento (64,8%), el ajo (63,9%), el culantro (62,6%), la papa (51,1%), el plátano verde (45,7%) y el banano (33,3%), siendo este último, el alimento más consumido en gramos por día en la población (742,86 gr/día) (Gómez y Rodríguez, 2024).

El análisis de laboratorio de estos alimentos reveló la presencia de metales pesados y micronutrientes tales como Al, B, Ca, Cd, Co, Cu, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, S y Zn, resaltando que la cantidad máxima de cada elemento (por 1 Kg de muestra) se encontraba en varios alimentos como el culantro, el tomate, la cebolla y el ajo. Sin embargo, al realizar el análisis con relación al consumo de los encuestados y los valores límites establecidos por organizaciones mundiales, se observó que el aporte tanto de los metales traza como los micronutrientes, no superaba el VDR o

límite máximo permitido (en el caso del Cd) y no representaba un riesgo potencial para la salud (Gómez y Rodríguez, 2024).

Varios de estos elementos tienen un porcentaje de absorción bajo en el cuerpo y sus vías de excreción eliminan de manera progresiva su presencia en el organismo, evitando su acumulación. No obstante, se debe tener en cuenta condiciones médicas especiales que puedan alterar su cuadro u otras funciones del cuerpo si se ingiere alguno de estos elementos en exceso.

Capítulo 2

2. Metodología

2.1. Alternativa de solución de problema

Los mercados municipales y supermercados son canales de distribución y adquisición de alimentos ampliamente utilizados por la población, por ello, conocer la ingesta de sus compradores fue el área de interés principal del estudio, y se realizó una estimación de la exposición de metales traza según los alimentos más consumidos por la población. En base a los resultados de las encuestas realizadas, así como la determinación del grupo de alimento con mayor aporte de metales traza a la dieta guayaquileña.

El análisis estadístico se realizó en base a la ingesta de los compradores de ambos entornos comerciales, siendo este un factor relevante para la selección de los alimentos y la estimación del potencial riesgo de intoxicación según los resultados del Laboratorio de Suelos y Nutrición Vegetal de la ESPOL. Este equipo que se encargó de la toma de muestras de los alimentos más consumidos y empleó métodos como el Espectrómetro de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo (ICP) para determinar la presencia de metales traza en los alimentos.

Estos pasos se realizaron con el fin de establecer si existe un riesgo por contaminación, tomando en cuenta las dosis recomendadas y tolerables de ingesta de metales traza en los alimentos y la frecuencia de consumo de estos, así como los diferentes factores que pueden intervenir en su absorción luego de la ingesta y el cálculo de indicadores de riesgo a largo plazo.

2.2. Procedimiento

2.2.1. Encuestas

El método de recolección de información escogido fue el cuestionario de frecuencia de consumo de alimentos, cuyo formato fue validado con anterioridad en el proyecto de

investigación “Análisis de metales traza en alimentos de alto consumo en mercados del Municipio de Guayaquil”, para la cual, se realizaron dos pruebas piloto, en las que se completaron 35 encuestas en total y se procedió a modificar el formato según factores como alimentos de menor consumo y alimentos de temporada, según la dieta habitual guayaquileña.

2.2.2. Análisis de datos

2.2.2.1. Revisión bibliográfica

Para conocer sobre el riesgo de intoxicación por metales pesados, se llevó a cabo una revisión bibliográfica sobre los distintos factores que influyen en la absorción o biodisponibilidad de estos elementos tras la ingesta. La revisión se centró en conocer la forma en la que actúan los metales en el metabolismo y como estos pueden verse afectados por otros compuestos, deficiencias nutricionales y la cocción de los alimentos, para poder evaluar los riesgos potenciales para la salud asociados a sus concentraciones en los alimentos estudiados. Para la recopilación de información, se emplearon motores de búsqueda como PubMed y Refseek.

2.2.2.2. Base de datos

Para la organización y análisis de los datos recopilados en las encuestas se utilizó la base de datos creada para el proyecto de investigación inicial. Tras el ingreso de la información, se obtuvo los 10 alimentos más consumidos por los compradores en base a la respuesta de consumo “Diario” en el cuestionario de frecuencia de consumo de alimentos, puesto que este parámetro representa los alimentos de mayor exposición en la dieta de los consumidores. La muestra final se obtuvo tras la unificación de los encuestados en supermercados y los encuestados en mercados municipales, con el fin de realizar el análisis y las conclusiones en base a una muestra significativa.

2.2.2.3. *Estadística*

Para garantizar la replicabilidad de los resultados del análisis de los alimentos de los supermercados, en cuanto a estadística descriptiva, se empleó el mismo diseño estadístico del proyecto inicial que incluyó técnicas de análisis estadístico que permitieran resumir los datos en un único valor, que proporcionen información sobre la dispersión y distribución de los valores. Además, gráficos y tablas que faciliten la interpretación y visualización de los datos como media, valores atípicos y variables tanto cuantitativas como categóricas (Gómez y Rodríguez, 2024). Estas técnicas incluyeron:

- Tabla de frecuencia absoluta y relativa
- Medidas de tendencia central: media.
- Gráficos: diagrama de barras.

2.2.2.4. *Programas para el análisis de datos*

La base de datos empleada fue creada en una hoja de cálculo de Excel y, posteriormente, analizados en la misma plataforma.

2.3. Descripción del producto

El producto consistió en un diseño de prototipo de chatbot educativo que brindará información actualizada sobre los metales traza en los alimentos de consumo regular en la población guayaquileña, distribuidos por los mercados municipales y supermercados de la ciudad. Constará de preguntas y respuestas predefinidas, datos curiosos y recursos visuales que ayuden a la comprensión del consumidor sobre el tema.

Además, se incluyó un apartado de registro de alimentos, donde se ofrece un espacio para que el usuario ingrese las comidas que ha ingerido durante el día y estime, mediante medidas caseras, la cantidad de alimento consumido. En base a la información que detalle, según los 10

alimentos analizados, se emitirá un mensaje de alerta en el caso de que la ingesta promedio de algún metal, exceda los límites máximos.

Capítulo 3

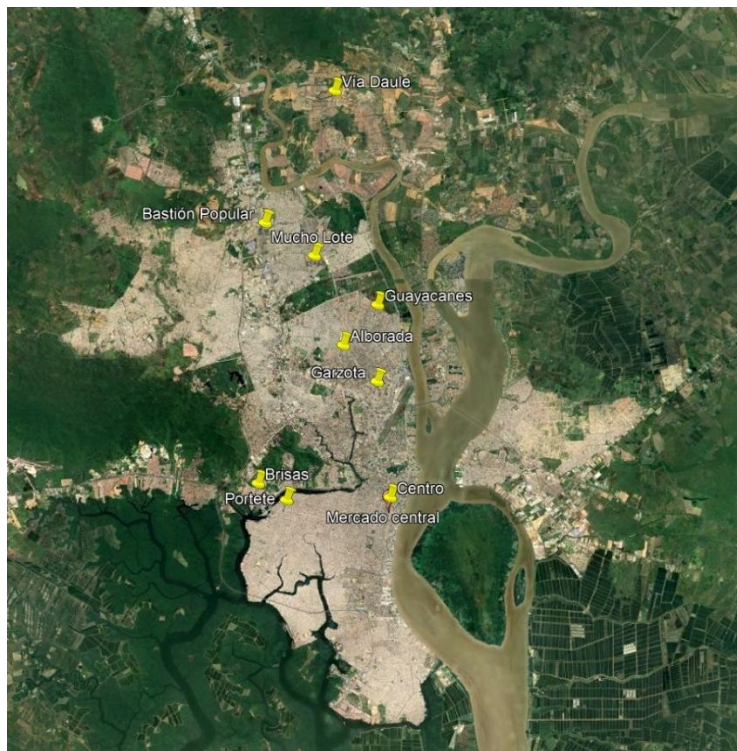
3. Resultados y análisis

3.1. Supermercados

3.1.1. Distribución geográfica

Figura 1

Mapa de distribución de supermercados visitados



Nota. La imagen fue creada a partir de la plataforma Google Earth Pro.

Como parte de la continuación del proyecto inicial, se realizaron encuestas en supermercados ubicados en distintas zonas de la ciudad de Guayaquil. En total, se recopilaron 217 encuestas, provenientes de los siguientes sectores: seis del norte, uno del centro y dos del sur. En la Tabla 3 a continuación se presenta el número de encuestados por local.

Tabla 3*Cifras de encuestados por supermercado*

Supermercados	Número de encuestados
Bastión Popular	30
Mucho Lote 1	30
Alborada	30
Garzota	30
Guayacanes	22
La Joya	20
Mercado Central	10
Brisas	14
29 y Portete	31
Total	217

3.1.2. Resultados de las encuestas

En base a las encuestas, los alimentos de mayor consumo fueron identificados filtrando la base de datos, seleccionando los alimentos de acuerdo con la respuesta de consumo “Diario (7 días)”. En este caso, se seleccionaron 10 alimentos para realizar la unificación con los resultados de las encuestas en los mercados de la ciudad. En la Tabla 4 se muestran los resultados, los cuales se alinean con factores como disponibilidad, cultura y accesibilidad.

Por ejemplo, en este top se incluyen los cuatro elementos clave para la preparación del refrito (cebolla, tomate, pimienta, ajo), la base de un gran número de platillos ecuatorianos. Además, la única fruta, a excepción del tomate y el banano, es el limón y este se utiliza no solo para la preparación de salsas (pico de gallo), sino también para darle un toque cítrico a las comidas típicas guayaquileñas como encebollado, bollo, caldo de salchicha, caldo de bola, etc. Con respecto a los acompañantes, el arroz destaca en la dieta ecuatoriana al igual que la papa, aunque en menor proporción como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4

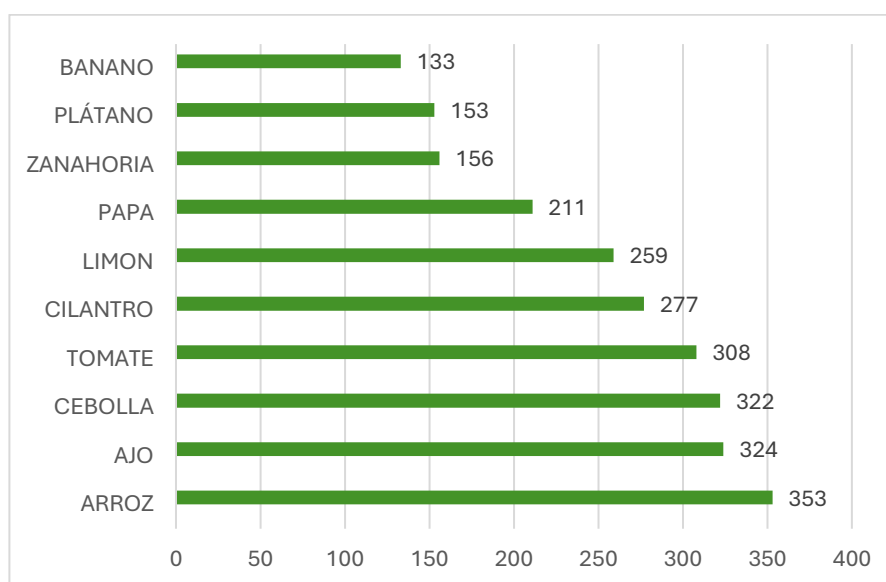
Top 10 alimentos consumidos a diario según resultados de encuestados en supermercados

Alimento	Cantidad	% en relación con el total de encuestados
Ajo	183	84,3
Arroz	159	73,3
Cebolla roja/perla	154	71
Tomate	147	67,7
Culantro	137	63,1
Pimiento	119	54,8
Limón	102	47
Papa	98	45,2
Zanahoria	84	38,7
Banano	59	27,2

Con el fin de establecer un top 10 significativo, se unificaron los tops de los alimentos consumidos a diario por los guayaquileños encuestados en los mercados municipales y supermercados. El total de personas encuestadas en los mercados fueron 219, mientras que en supermercados fueron 217, obteniendo una muestra final de 436 personas.

Figura 2

Gráfico del Top 10 de alimentos de consumo diario en la población guayaquileña



En este top final, no se incluye el pimiento, pero se añade el plátano verde. Un alimento versátil que se usa en varias preparaciones de la costa ecuatoriana y se come en distintas horas del día, por ejemplo, bolón para el desayuno, caldo de bola para el almuerzo y patacones con queso para la cena.

3.1.3. Resultados de consumo diario por alimento

Según la clasificación final, la cantidad de alimento consumido por día se estimó utilizando el promedio de los gramos por día, una variable de la base de datos que considera el número de convivientes del encuestado. Se reportó el número de encuestados por alimento puesto que se consideraron únicamente aquellos que contestaron frecuencia de consumo “Diario”, con el fin de estimar la exposición a metales traza diaria.

Tabla 5

Estimación del promedio de alimento consumido en gramos al día

Alimento	Encuestados	Media (g/día)
Arroz	353	203
Ajo	324	25,53
Cebolla	322	47,31
Tomate	308	42,80
Cilantro	277	16,74
Limón	259	38,80
Papa	211	82,20
Zanahoria	156	52,09
Plátano	153	118,69
Banano	133	77,83

3.2. Estimación de exposición de metales traza y caracterización del riesgo

A continuación, se presentan las tablas de resultados de la estimación de la exposición diaria de metales traza. El cálculo se realizó empleando los resultados del análisis de laboratorio de los alimentos del proyecto inicial, los cuales fueron convertidos de peso seco a húmedo, para posteriormente obtener el aporte más acertado de cada metal traza encontrado en los alimentos.

Tabla 6

Estimación de ingesta diaria de metales traza en los alimentos de mayor consumo. Parte 1.

Producto	Cd (mg/Kg)	Al (mg/Kg)	B (mg/Kg)	Ca (mg/Kg)	Co (mg/Kg)	Cu (mg/Kg)
Arroz	0,012	0,486	0,617	12,668	0,072	0,691
Ajo	0,002	0,229	0,537	16,564	0,010	0,131
Cebolla	0,007	0,747	1,989	149,985	0,024	0,499
Tomate	0,005	3,473	0,897	89,951	0,016	0,404
Cilantro	0,002	0,523	0,796	196,402	0,012	0,235
Limón	0,003	0,199	0,655	159,528	0,016	0,197
Papa	0,007	0,241	0,802	87,991	0,031	0,470
Zanahoria	0,006	1,525	1,250	216,595	0,024	0,421
Plátano	0,010	0,210	0,445	8,341	0,030	0,374
Banano	0,006	1,388	0,626	20,694	0,042	0,461

Tabla 7

Estimación de ingesta diaria de metales traza en los alimentos de mayor consumo. Parte 2.

Producto	K (mg/Kg)	Mg (mg/Kg)	Mn (mg/Kg)	Na (mg/Kg)	Ni (mg/Kg)	P (mg/Kg)	S (mg/Kg)	Zn (mg/Kg)
Arroz	226,626	58,530	1,596	11,038	0,257	213,884	231,630	4,085
Ajo	477,315	24,362	0,213	13,822	0,016	103,561	207,722	0,615
Cebolla	1297,666	86,523	0,671	56,756	0,035	237,719	299,629	1,757
Tomate	2278,783	109,166	0,819	30,431	0,044	242,740	108,225	1,036
Cilantro	1103,144	89,840	1,364	62,471	0,033	126,047	76,398	0,736
Limón	609,242	39,750	0,098	9,372	0,039	84,304	27,284	0,422
Papa	2110,571	130,061	0,723	15,035	0,038	284,357	142,268	1,829
Zanahoria	1872,466	147,492	1,268	187,347	0,055	237,868	176,527	1,552
Plátano	1250,556	115,504	0,287	3,309	0,063	107,525	38,227	0,831

Banano	1327,246	91,847	1,070	4,193	0,066	82,152	33,454	0,932
---------------	----------	--------	-------	-------	-------	--------	--------	-------

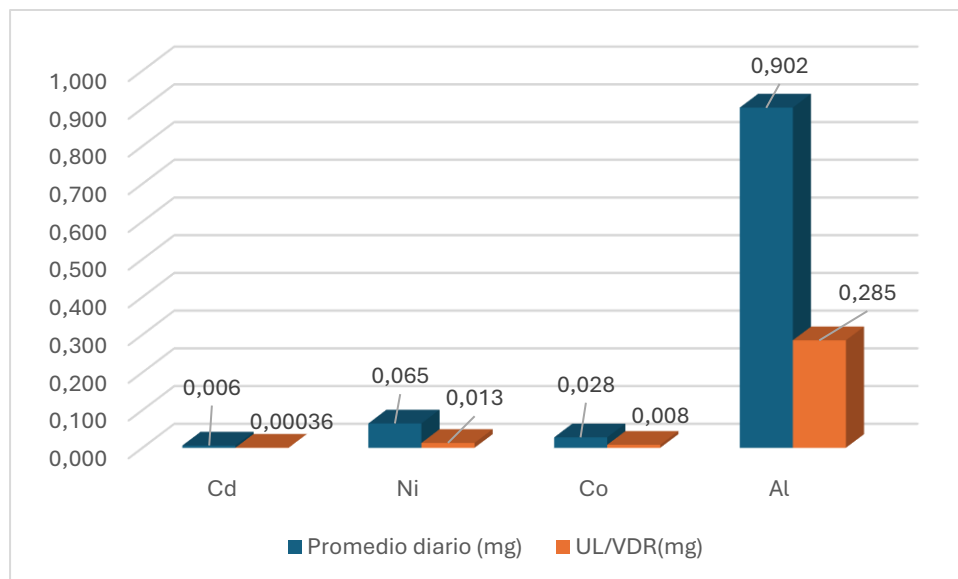
Según los datos estimados, el arroz es el alimento que tiene mayor aporte de metales traza, los cuales incluyen Cd, Co, Cu, Mn, Ni y Zn, seguido de la zanahoria y tomate en elementos como Na, Ca, Mg y Al, K, respectivamente. No obstante, el ajo es la contraparte del arroz, siendo el alimento con menor aporte de metales como Cd, Co, Cu, Mg y Zn, al igual que el limón y el plátano verde en elementos como Al, Mn, S, Zn y B, Ca, Na, correspondientemente.

Para el análisis de los resultados, se empleó como referencia los valores de ingesta máxima tolerable (UL) y valor diario recomendado (VDR) de cada uno de los elementos estudiados, establecidos por organizaciones como la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA), Institutos Nacionales de la Salud (NIH) y el Comité Mixto de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA). **Ver Apéndice A y B.**

A partir de los resultados obtenidos en las Tablas 6 y 7, se calculó la media de cada metal traza presentes en los alimentos, con el fin de realizar un análisis más centrado en el aporte promedio diario de estos elementos en la dieta y conocer aquellos que superen los límites establecidos por las distintas organizaciones de salud.

Figura 3

Promedio diario de metales traza vs UL/VDR correspondiente. Parte 1



En la Figura 3 se aprecian los cuatro metales que superan los valores de referencia (UL/VDR). En primer lugar, respecto al cobalto, se reportaron 0,028 mg/Co, representando el 350% del VDR. La principal fuente de exposición de Co son los alimentos contaminados y, aproximadamente, entre el 5-97% de este elemento es absorbido en el cuerpo, además, la deficiencia de hierro (anemia), favorece la absorción de este metal (ATSDR, 2024). En este caso, la mayor concentración se encontró en el arroz y el banano; varios tipos de plantas pueden acumular este metal en las partes comestibles como el fruto y también en los granos (ATSDR, 2016).

Por otro lado, se obtuvo 0,006 mg/Cd, representando más del 1000% del UL. Varios estudios concuerdan que la absorción gastrointestinal del Cd en humanos es entre 3 y 8%, y, de igual manera, su biodisponibilidad y toxicidad se puede ver afectada por deficiencias de minerales tales como el Ca, Fe y Zn (Ogheneovo Asagba, 2013). Una investigación realizada en ratones indicó una menor biodisponibilidad relativa de Cd en alimentos de hoja verde debido a

sus altas concentraciones de Ca y bajas concentraciones de ácido fítico, permitiendo que este mineral inhiba la absorción intestinal del Cd (Wang, y otros, 2022).

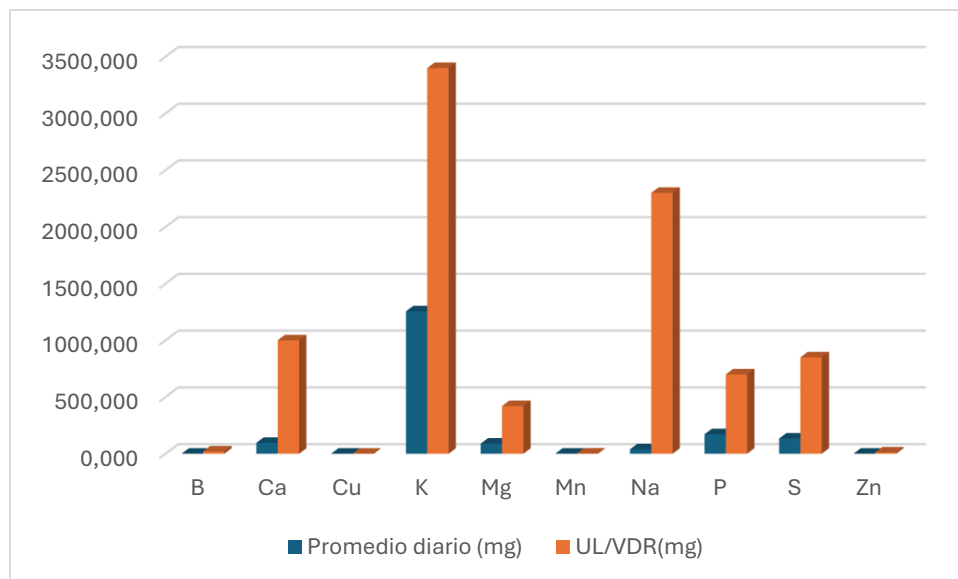
Siguiendo con el níquel, se reportó una ingesta promedio de 0,065 mg/Ni, superando su UL en un 500%. Según la bibliografía, este metal pesado se ha encontrado en varios vegetales y cereales, entre ellos el arroz, avena, hojas verdes y leguminosas; no obstante, se ha observado que la absorción y biodisponibilidad de este elemento se verá afectada por su hidrosolubilidad y si una persona se encuentra en ayunas (Buxton, y otros, 2019). Estudios han determinado que la absorción de compuestos níquelados hidrosolubles, en su forma orgánica, en ayunas, es entre 25-27%, mientras que la absorción con una ingesta previa de otros alimentos es mucho menor, entre el 0,7 y 2,5% del compuesto (Schrenk, y otros, 2020).

Cabe destacar que la absorción gastrointestinal de este elemento es más elevada si su exposición es por ingesta de agua contaminada (ASTDR, 2005). Finalmente, la excreción del Ni se da vía urinaria o por heces y su vida media en el organismo es de aproximadamente 28 horas +/- 9 horas (Schrenk, y otros, 2020).

El aluminio sobrepasa el UL en un 316,49%, comparado con el valor registrado, es decir, 0,902 mg/Al. La absorción de aluminio es mínima tras la ingesta de alimentos contaminados (0,1%), por lo que, en la población sana, la exposición oral a este metal no representa un riesgo para la salud (Tietz, y otros, 2019). Además, existen factores que influyen en el porcentaje de absorción, por ejemplo, el calcio y el silicio lo disminuyen, mientras que sustancias como el citrato y el fluoruro lo incrementan, hasta máximo 20 veces (Maestre, 2014). Como se muestra en la Tabla 6, dos de los alimentos con mayor concentración de aluminio, según las estimaciones, son vegetales (tomate y zanahoria), coincidiendo con las principales fuentes de exposición por vía oral: vegetales, frutas, cereales y cocoa. (Tietz, y otros, 2019).

Figura 4

Promedio diario de metales traza vs UL/VDR correspondiente. Parte 2



No obstante, en la Figura 4 se presenta la comparación de los promedios de ingesta diaria estimada de los metales traza encontrados, y sus respectivos VDR o UL de ser el caso. Se obtuvo como resultados los siguientes valores: 0,861 mg/B, 95,872 mg/Ca, 0,388 mg/Cu, 1255,36 mg/K, 89,308 mg/Mg, 0,811 mg/Mn, 39,37 mg/Na, 172,01 mg/P, 134,13mg/S, y finalmente 1,38 mg/Zn, los cuales representan aproximadamente entre el 1,71 al 45,05% de su VDR o UL según corresponda.

Se observa que la ingesta diaria promedio de cada uno de los elementos es considerablemente menor respecto a sus valores de referencia establecidos, por lo cual no representaría un riesgo de intoxicación, además de que los elementos mencionados cumplen con un rol biológico en la salud del ser humano.

3.2.1. Prácticas alimentarias para mitigar la ingesta de metales pesados

En base a los resultados obtenidos y la información acerca del mecanismo de acción de los metales pesados, se pueden establecer recomendaciones relacionadas a la preparación e

ingesta de los alimentos más consumidos, entre ellas, la diversificación de la dieta y técnicas de cocción sugeridas según la bibliografía disponible.

Existen pocos estudios sobre los efectos de los métodos de cocción en la concentración de metales pesados, sin embargo, la evidencia sugiere que el impacto es limitado y depende de factores como el tiempo y medio de cocción (Abdulrahman, y otros, 2022). Procesos como el remojo, lavado y cocción han demostrado un efecto reductor en la concentración de As en el arroz e inclusive se han reportado casos en los que la cantidad reduce hasta 20 veces el valor inicial. Además, estos procesos para la preparación de arroz también producen una disminución en el contenido de Pb y Cd (Phrukphicharn, Sripanyaphol, & Kanisornmongkolchai, 2021).

En un estudio realizado en una ciudad de África, se recolectó información relevante tras el análisis de los efectos de métodos de cocción convencionales (asar, freír y hervir) en muestras de yuca, plátano, ñame y mandioca. El porcentaje de reducción en el contenido de plomo fue casi del 100%, específicamente tras freír las muestras de ñame (99%), yuca (96,4%) y plátano (95,8%). Sin embargo, cabe recalcar que, en general, los tres métodos de cocción provocaron una disminución en el contenido de metales pesados como Mn, Pb, As, Cd y Hg. Según los resultados reportados en estos alimentos, el método más efectivo para reducir la concentración de estos elementos es hervir, seguido de freír y, por último, asar (Adjei, y otros, 2021).

Por otro lado, en vegetales de hoja verde, las investigaciones sugieren que el método más eficiente para reducir la concentración de metales pesados como el Ni, Pb, Cu, Cr y Cd es saltearlos. Ebulir este tipo de vegetales tiene un efecto mínimo en el contenido de estos metales (Phrukphicharn, Sripanyaphol, & Kanisornmongkolchai, 2021).

3.2.2. Cálculo del cociente de riesgo (HQ)

La caracterización de un riesgo potencial en la salud por la exposición a contaminantes por vía oral ha sido propuesta por la EPA mediante el cálculo del cociente de riesgo (HQ) y el índice de riesgo (HI), los cuales estiman el peligro no cancerígeno que puede representar un contaminante o la mezcla de varios contaminantes, respectivamente, en la salud de los consumidores a largo plazo (Goumenou & Tsatsakis, 2019).

Con el fin de estimar el riesgo en la salud de manera objetiva, se calculó el cociente de riesgo de los metales pesados identificados en las muestras de los alimentos (Al, Cd, Co y Ni), aquellos que sobrepasaron los límites máximos establecidos. Este cociente relaciona la sustancia química de interés (contaminante) y la dosis de referencia para evaluar el riesgo según la exposición humana a esta sustancia, en este caso a los metales pesados encontrados en los alimentos que se consumen diariamente (Benson, 2014).

El resultado se evalúa de acuerdo con la siguiente premisa: si el valor es > 1 , existe una alta probabilidad de efectos no carcinogénicos, aumentando el riesgo a medida que el número asciende (Alsafran, Usman, Rizwan, Ahmed, & Al, 2021).

Para el cálculo del HQ se emplearon los valores de Dosis de Referencia (RfD) para los metales de interés. La RfD es un valor máximo estimado que la población general y grupos vulnerables pueden consumir de un compuesto, sin que represente un riesgo para su salud o presente efectos adversos (EPA, 2024). **Ver Apéndice C.**

Tabla 8

Resultados de exposición diaria de metales pesados y cociente de riesgo

Metal	Exposición diaria (mg/Kg/día)	HQ
Al	0,0133	33,162
Cd	0,0001	0,088
Co	0,0004	0,014
Ni	0,0010	0,048

En la Tabla 8 es posible visualizar los valores de HQ y, la mayoría de los resultados son menores a 1, indicando que no existe un riesgo alto de efectos adversos por la ingestión de los alimentos contaminados, principalmente porque la concentración de estos metales pesados no sobrepasa el RfD (Anderson, Zagorski, & Kaminski, 2024).

Por otro lado, según el HQ, el único metal pesado que representaría un riesgo para la población es el aluminio. Por lo que, es importante analizar los factores que pueden influir en estos resultados. En primer lugar, según los datos de laboratorio, la concentración de aluminio sobrepasa en gran medida la dosis tolerable. En promedio, el aporte de aluminio proveniente de las fuentes de alimentos que se consumen a diario es de 0,901 mg/kg, mientras que el UL es de 0,285 mg.

Sin embargo, es importante tomar en consideración que, aproximadamente, apenas el 0,1% del Al en los alimentos es absorbido en el organismo. Además, el HQ se calcula en base a la exposición, el resultado de una estimación según la cantidad de alimento ingerido y un peso promedio.

3.3. Análisis del producto

Una vez analizados los resultados sobre los metales traza en la ingesta promedio de la población guayaquileña y los puntos importantes sobre su absorción y métodos de mitigación, se procedió a complementar el diseño de producto de la investigación inicial, por medio de la adición de funciones nuevas. Se añadirá una función de registro de consumo de los alimentos identificados en la investigación y un prototipo de inteligencia artificial dirigido al público general (adultos), la cual proveerá la siguiente información:

- **Registro de consumo de alimentos:** apartado donde se podrá ingresar la información de alimentos ingeridos diariamente en medidas caseras, con el fin de conocer la

frecuencia y cantidad de consumo de los alimentos que podrían representar un riesgo por su aporte de metales pesados.

- **Recordatorios de diversificación de la dieta:** en base a la información ingresada en el registro de consumo de alimentos, se enviarán mensajes sugiriendo la diversificación de la alimentación, brindando alternativas para variar la dieta con opciones de productos pertenecientes al mismo grupo de alimentos. Principalmente, con el objetivo de disminuir el riesgo de ingesta de metales pesados.
- **Prototipo de IA:** modelo de asistente virtual llamado “Limoncillo”, el cual proveerá información clave sobre los metales pesados y sus técnicas de mitigación a partir de dudas que ingrese el usuario. La información proporcionada incluirá:
 - ✓ **Métodos de cocción:** mensajes sobre técnicas de cocción con mayor evidencia para reducir la concentración de metales pesados en los alimentos consumidos a diario, según las encuestas.
 - ✓ **Información sobre metales pesados:** datos curiosos sobre las señales de alertas relacionadas a intoxicación por metales pesados, factores que intervienen en la absorción de los metales.

3.3.1. Prototipo

Figura 5

Prototipo de IA asistencial y funciones complementarias



Capítulo 4

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1. Conclusiones

La investigación realizada abordó la estimación del promedio de ingesta de metales traza en los alimentos de mayor consumo de la población guayaquileña, en base a las encuestas realizadas en mercados municipales y una cadena de supermercados de la ciudad, para conocer el riesgo potencial en la salud de los consumidores a largo plazo. De acuerdo con el análisis de los resultados obtenidos en la investigación, se concluye lo siguiente:

- De los 10 alimentos de consumo masivo analizados, el arroz y el banano tienen un aporte significativo de metales pesados como Al, Co y Ni, sin embargo, cabe destacar que el arroz también contribuye a la exposición de Cd en la dieta.
- En base a las estimaciones de ingesta promedio diaria, los metales pesados con mayor presencia en los alimentos de consumo masivo fueron los siguientes: Al (0,902 mg/día), Cd (0,006 mg/día), Co (0,028 mg/día) y Ni (0,065 mg/día), ya que estos superaron los límites de ingesta establecidos (UL/VDR) por las organizaciones internacionales.
- Factores como las deficiencias de micronutrientes, métodos de cocción de los alimentos, la forma química del metal pesado en el producto, e incluso, si el alimento contaminado es consumido en ayunas, influyen en la absorción. Por ello, se podría indicar que el riesgo de intoxicación tanto de los minerales como de los metales pesados en los alimentos de mayor consumo es bajo.
- El Al es el metal que representaría un riesgo para desarrollar efectos no carcinógenos a largo plazo, según su HQ, puesto que es 33 veces mayor que su RfD oral.

4.2. *Recomendaciones*

- Para futuros estudios, utilizar otros métodos de recolección de información específicos sobre la alimentación de los ciudadanos de Guayaquil, el fin de evitar una sobre o subestimación de la ingesta de los productos alimenticios por consumidor, y, a su vez, de la ingesta promedio de metales traza en su dieta.
- Incluir otras cadenas de supermercados de la ciudad de Guayaquil, para conocer si existe una diferencia en la presencia de metales traza en los alimentos más consumidos por los ciudadanos y determinar de mejor manera un riesgo potencial en la salud a largo plazo.
- Analizar otros productos alimenticios como productos cárnicos, mariscos, pescados, derivados lácteos, entre otros, con el objetivo de determinar si existe un riesgo potencial en la salud de la población, debido a que son alimentos que forman parte de la dieta guayaquileña y, de igual manera, son productos que pueden estar expuestos a contaminación por metales pesados.
- La variabilidad de los valores de referencia es una limitación, puesto que existen organizaciones internacionales que presentan distintas estimaciones según los estudios realizados. Por lo tanto, hay que tomar en cuenta las alteraciones que pueden producir en las interpretaciones de los resultados.

Referencias

1. Abd Elnabi, M. K., Elkaliny, N. E., Elyazied, M. M., Azab, S. H., Elkhalfa, S. A., Elmasry, S., . . . Mahmoud, Y. A. (2023). Toxicity of Heavy Metals and Recent Advances in Their Removal: A Review. *Toxics*, 580.
doi:<https://doi.org/10.3390/toxics11070580>
2. Abdulrahman, A., Dahlawi, S., Atif, M., Uz, Q., Chen, Y., & Kh, T. (2022). Toxic Metals and Metalloids in Hassawi Brown Rice: Fate during Cooking and Associated Health Risks. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. Obtenido de <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9566630/#B26-ijerph-19-12125>
3. Adjei, R., Ofori, H., Tortoe, C., Torgbor, P., Aryee, D., & Kofi, S. (2021). Effect of home processing methods on the levels of heavy metal contaminants in four food crops grown in and around two mining towns in Ghana. *Toxicology Reports*. Obtenido de <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8591352/>
4. Alsafran, M., Usman, K., Rizwan, M., Ahmed, T., & Al, H. (2021). The Carcinogenic and Non-Carcinogenic Health Risks of Metal(oid)s Bioaccumulation in Leafy Vegetables: A Consumption Advisory. *Frontiers*. Obtenido de <https://www.frontiersin.org/journals/environmental-science/articles/10.3389/fenvs.2021.742269/full>
5. Anderson, E., Zagorski, J., & Kaminski, N. (22 de Enero de 2024). *Everyday Toxicology – Reference Dose*. Obtenido de <https://www.canr.msu.edu/news/everyday-toxicology-reference-dose>

6. ASTDR. (2005). *Resumen de Salud Pública Níquel*. Obtenido de Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades:
https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs15.pdf
7. ATSDR. (2008). *Toxicological Profile for Aluminum*. Obtenido de <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp22-c8.pdf>
8. ATSDR. (2012). *Toxicological Profile for Cadmium*. Obtenido de Agency for Toxic Substances and Disease Registry: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp5-c8.pdf>
9. ATSDR. (6 de Mayo de 2016). *Resúmenes de Salud Pública – Cobalto (Cobalt)*. Obtenido de https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs33.html
10. ATSDR. (Octubre de 2024). *Toxic Guide for Cobalt*. Obtenido de <https://www.atsdr.cdc.gov/toxguides/toxguide-33.pdf>
11. Balali, M., Naseri, K., Tahergorabi, Z., Reza, M., & Sadeghi, M. (2021). Toxic Mechanisms of Five Heavy Metals: Mercury, Lead, Chromium, Cadmium, and Arsenic. *Frontiers in pharmacology*. Obtenido de <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8078867/>
12. Benavides, Á., Romero, B., Pérez, I., & Pernía, B. (2022). Evaluation of the concentration of heavy metals in vegetables from Ecuador. *Revista Bionatura*. Obtenido de <https://revistabionatura.com/files/N-2022.07.03.58.pdf>
13. Benson, R. (2014). Hazard Quotient. *Encyclopedia of Food Safety*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/topics/food-science/hazard-quotient>

14. Benson, R. (2014). Hazards of Food Contact Material: Phthalates. *Encyclopedia of food safety*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/topics/food-science/hazard-quotient>
15. Bernhoft, R. A. (2011). Mercury Toxicity and Treatment: A Review of the Literature. *Journal of Environmental and Public Health*.
doi:<https://doi.org/10.1155/2012/460508>
16. Buxton, S., Garman, E., Heim, K. E., Lyons Darden, T., Schlekat, C. E., Taylor, M. D., & Oller, A. R. (2019). Concise Review of Nickel Human Health Toxicology and Ecotoxicology. *Inorganics*, 89.
doi:<https://doi.org/10.3390/inorganics7070089>
17. Carvalho, C., & Dinis, R. (2023). Clinical and Forensic Signs Resulting from Exposure to Heavy Metals and Other Chemical Elements of the Periodic Table. *Journal of Clinical Medicine*. Obtenido de <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10095087/>
18. Cleveland Clinic. (2022). *Heavy Metal Poisoning (Toxicity)*. Obtenido de Cleveland Clinic: <https://my.clevelandclinic.org/health/diseases/23424-heavy-metal-poisoning-toxicity>
19. EFSA. (2 de Julio de 2024). *Los metales como contaminantes de los alimentos*. Obtenido de Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria: <https://www.efsa.europa.eu/es/topics/topic/metals-contaminants-food#ultimos-datos>
20. EFSA. (s.f.). *Nivel superior de ingesta tolerable*. Obtenido de <https://www.efsa.europa.eu/es/glossary/tolerable-upper-intake-level>

21. EPA. (2024). *Reference Dose (RfD): Description and Use in Health Risk Assessments*. Obtenido de United States Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/iris/reference-dose-rfd-description-and-use-health-risk-assessments>
22. EPA. (s.f.). *Nickel, soluble salts*. Obtenido de United States Environmental Protection Agency: https://cfpub.epa.gov/ncea/iris2/chemicallanding.cfm?substance_nmbr=271
23. Espinosa, S., & Gonzalez, M. (2023). Nutrition: Micronutrient Intake, Imbalances, and Interventions. *StatPearls*. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK597352/>
24. Evaluation of the concentration of heavy metals in vegetables from Ecuador. (2022). *Revista Bionatura*. Obtenido de <https://revistabionatura.com/files/N-2022.07.03.58.pdf>
25. FDA. (2022). *FDA's Testing of Cosmetics for Arsenic, Cadmium, Chromium, Cobalt, Lead, Mercury, and Nickel Content*. Obtenido de U.S. Food & Drug Administration: <https://www.fda.gov/cosmetics/potential-contaminants-cosmetics/fdas-testing-cosmetics-arsenic-cadmium-chromium-cobalt-lead-mercury-and-nickel-content>
26. FDA. (2023). *Valor Diario y Porcentaje de Valor Diario en las etiquetas de información nutricional y complementaria*. Obtenido de <https://www.fda.gov/media/137914/download>
27. FDA. (24 de Abril de 2024). *Investigación sobre los niveles elevados de plomo y cromo en las bolsas de puré de manzana y canela (noviembre de 2023)*. Obtenido de <https://www.fda.gov/food/outbreaks-foodborne-illness/investigacion-sobre-los-niveles-elevados-de-plomo-y-cromo-en-las-bolsas-de-pure-de-manzana-y->

canela#:~:text=18%20de%20diciembre%20de%202023&text=Durante%20la%20inspecci%C3%B3n%20los%20investigadores,

28. FDA. (2024). *Sodium in your diet*. Obtenido de U.S. Food & Drug Administration: <https://www.fda.gov/food/nutrition-education-resources-materials/sodium-your-diet>
29. Finley, B., Monnot, A., Paustenbach, D., & Gaffney, S. (2012). Derivation of a chronic oral reference dose for cobalt. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0273230012001791?via%3Dihub>
30. Fisher, R., & Gupta, V. (2024). Heavy Metals. *StatPearls*. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557806/>
31. Flora, G., Gupta, D., & Tiwari, A. (2012). Toxicity of lead: A review with recent updates. *Interdisciplinary Toxicology*, 47-58. doi:<https://doi.org/10.2478/v10102-012-0009-2>
32. Goumenou, M., & Tsatsakis, A. (2019). Proposing new approaches for the risk characterisation of single chemicals and chemical mixtures: The source related Hazard Quotient (HQS) and Hazard Index (HIS) and the adversity specific Hazard Index (HIA). *Toxicology Reports*, 632-636. doi:<https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2019.06.010>
33. Humanitas Research Hospital. (s.f.). *Cobalt*. Obtenido de <https://www.humanitas.net/wiki/mineral-salts/cobalt/>
34. Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, 60-72. doi:<https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009>

35. Khan, M., Ahmad, M., Ahmad, I., Ashfaq, F., Wahab, S., Alsayegh, A., . . . Hakeem, K. (2022). Arsenic Exposure through Dietary Intake and Associated Health Hazards in the Middle East. *Nutrients*. Obtenido de <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9146532/>
36. Kumar Rai, P., Lee, S. S., Zhang, M., Tsang, Y. F., & Kim, K. H. (2019). Heavy metals in food crops: Health risks, fate, mechanisms, and management. *Environment International*, 365-385. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.01.067>
37. Maestre, R. (2014). Aluminio: ingestión, absorción, excreción y toxicidad. *Revista Costarricense de Salud Pública*. Obtenido de https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-14292014000200003
38. Mitra, S., Jyoti, A., Montakim, A., Bin, T., Bin, T., Nainu, F., . . . Simal, J. (2022). Impact of heavy metals on the environment and human health: Novel therapeutic insights to counter the toxicity. *Journal of King Saud University*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1018364722000465>
39. Naciones Unidas. (7 de Junio de 2024). *Día Mundial de la Inocuidad de los Alimentos*. Obtenido de Naciones Unidas: <https://www.un.org/es/observances/food-safety-day#:~:text=La%20inocuidad%20de%20los%20alimentos%20es%20un%20asunto%20de%20todos&text=La%20forma%20en%20la%20que,alimentario%20en%20todo%20el%20mundo>.
40. Navarrete, G., Morales, L., Dominguez, L., José, P., & Marín, J. (2019). Heavy metals contamination in the gulf of guayaquil: even limited data reflects environmental impacts from anthropogenic activity. *Revista Internacional de*

Contaminación Ambiental. Obtenido de

[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992019000300731)

[49992019000300731](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992019000300731)

41. NCBI. (2023). *Arsenic Toxicity*. Obtenido de National Center for Biotechnology Information: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK541125/>

42. NIH. (30 de Marzo de 2020). *Boro*. Obtenido de <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Boron-DatosEnEspanol/>

43. NIH. (2021). *Manganese*. Obtenido de National Institutes of Health: <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Manganese-HealthProfessional/>

44. NIH. (2021). *Potassium*. Obtenido de National Institutes of Health: <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Potassium-Consumer/>

45. NIH. (2022). *Copper*. Obtenido de National Institutes of Health: <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Copper-HealthProfessional/>

46. NIH. (2022). *Magnesium*. Obtenido de National Institutes of Health: <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Magnesium-HealthProfessional/#:~:text=The%20U.S.%20Food%20and%20Drug,years%20and%20o,lder%20%5B11%5D>.

47. NIH. (2022). *Zinc*. Obtenido de National Institutes of Health: <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Zinc-Consumer/>

48. NIH. (2023). *Phosphorus*. Obtenido de National Institutes of Health: <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Phosphorus-HealthProfessional/>

49. NIH. (2024). *Calcium*. Obtenido de National Institutes of Health: <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Calcium-HealthProfessional/>

50. Ogheneovo Asagba, S. (2013). Cadmium Absorption. *Encyclopedia of Metalloproteins*, 332-337. doi:https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1533-6_24
51. OMS. (2011). *ALUMINIUM-containing food additives*. Obtenido de World Health Organization: <https://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/Home/Chemical/6179#:~:text=The%20Committee%20established%20a%20provisional,aluminium%20is%20below%20the%20PTWI>.
52. OMS. (2019). *Exposure to Arsenic: a major Public Health Concern*. Obtenido de World Health Organization: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/329482/WHO-CED-PHE-EPE-19.4.1-eng.pdf>
53. OMS. (4 de Octubre de 2024). *Incouidad de los alimentos*. Obtenido de Organización Mundial de la Salud: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/food-safety>
54. Phrukphicharn, A., Sripanyaphol, S., & Kanisornmongkolchai, T. (2021). Effects of cooking process on the level of heavy metal accumulation in vegetables: Literature review. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*. Obtenido de https://ijeab.com/upload_document/issue_files/18IJEAB-110202112-Effectsof.pdf
55. Pokhael, A., & Wu, F. (2023). Dietary exposure to cadmium from six common foods in the United States. *Elsevier*. Obtenido de [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278691523002752#:~:text=A%20dietary%20Cd%20intake%20value,month%20\(JECFA%2C%202011\)](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278691523002752#:~:text=A%20dietary%20Cd%20intake%20value,month%20(JECFA%2C%202011)).

56. Rajkumar, V., Lee, V. R., & Gupta, V. (23 de Marzo de 2023). *Heavy Metal Toxicity*. Obtenido de National Library of Medicine:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK560920/>
57. Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., & González, E. (2016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en la salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*. Obtenido de
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6096110>
58. Romero Estévez, D., Yáñez Jácome, G. S., & Navarrete, H. (2023). Non-essential metal contamination in Ecuadorian agricultural production: A critical review. *Journal of Food Composition and Analysis*.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104932>
59. Sarker, A., Kim, J. E., Islam, A. R., Bilal, M., Rakib, R. J., Nandi, R., . . . Islam, T. (2021). Heavy metals contamination and associated health risks in food webs—a review focuses on food safety and environmental sustainability in Bangladesh. *Environmental Science and Pollution Research*, 3230-3245.
doi:<https://doi.org/10.1007/s11356-021-17153-7>
60. Schrenk, D., Bignami, M., Bodin, L., Chipman, J. K., del Mazo, J., Grasl Kraupp, B., . . . Nielsen, E. (2020). Update of the risk assessment of nickel in food and drinking water. *EFSA Journal*, 18. doi:<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6268>
61. Schrenk, D., Bignami, M., Bodin, L., Chipman, J., Mazo, J., Grasl, B., . . . Nielsen, E. (2024). Update of the risk assessment of inorganic arsenic in food. *EFSA Journal*. Obtenido de <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2024.8488>

62. Scutarasu, E., & Trinca, L. (2023). Heavy Metals in Foods and Beverages: Global Situation, Health Risks and Reduction Methods. *Foods*. Obtenido de <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10528236/>
63. Singhanian, S., Agrawal, P., & Dwivedi, A. (2024). Levels of Arsenic in Soil, Irrigation Water, and Vegetables in Sites of Delhi Nearby Yamuna Region †. *Engineering Proceedings*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2673-4591/67/1/67#:~:text=3.4.&text=Okhla%20and%20Najafgarh%20are%20showing,mg%20Fkg%20for%20root%20vegetables>.
64. Tietz, T., Lenzner, A., Kolbaum, A., Zellmer, S., Riebeling, C., Gurtler, R., . . . Hensel, A. (2019). Aggregated aluminium exposure: risk assessment for the general population. *Archives of Toxicology*. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s00204-019-02599-z#Sec1>
65. UK Health Security Agency. (15 de Octubre de 2024). *Arsenic: toxicological overview*. Obtenido de <https://www.gov.uk/government/publications/arsenic-properties-incident-management-and-toxicology/arsenic-toxicological-overview>
66. University of Rochester: Medical Center. (s.f.). *Cobalt*. Obtenido de <https://www.urmc.rochester.edu/encyclopedia/content?contenttypeid=19&contentid=cobalt>
67. Wang, M. Y., Li, M. Y., Ning, H., Xue, R. Y., Liang, J. H., Wang, N., . . . Li, H. B. (2022). Cadmium oral bioavailability is affected by calcium and phytate contents in food: Evidence from leafy vegetables in mice. *Journal of Hazardous Materials*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127373>

68. WHO. (2019). *EXPOSURE TO ARSENIC: A MAJOR PUBLIC HEALTH CONCERN*. Obtenido de <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/329482/WHO-CED-PHE-EPE-19.4.1-eng.pdf>

Apéndices

Apéndice A

Tabla

Valor Diario Recomendado de los metales traza para adultos

Elemento (unidad)	Valor Diario Recomendado (VDR)	
Ca (mg)	1000	
Co (µg)	8	
Cu (mg)	0,9	
K (mg)	3400 (H)	2600 (M)
Mg (mg)	420 (H)	320(M)
Mn (mg)	2,3 (H)	1,8 (M)
Na (mg)	Hasta 2300	
P (mg)	700	
S (mg)	850	
Zn (mg)	11 (H)	8 (M)

Nota. Valores obtenidos de la FDA, NIH y JECFA; H: hombres, M: mujeres

Apéndice B

Tabla

Ingesta Máxima Tolerable (UL) de los metales traza

Elemento	Ingesta Máxima Tolerable (UL)
Al (mg/kg/semana)	2
B (mg)	20
Cd (µg/kg/día)	0,36
Ni (µg/kg)	13

Nota. Valores obtenidos de la EFSA, FDA y NIH

Apéndice C

Tabla

Dosis de Referencia (RfD) metales pesados analizados

Metal	RfD (mg/Kg/día)
Al	0,0004
Cd	0,001
Co	0,03
Ni	0,02

Nota. Valores obtenidos de ATSDR, EPA, NIH