



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“DETERMINACIÓN DEL RIESGO POTENCIAL POR INGESTA DE
ALIMENTOS CONTAMINADOS CON METALES PESADOS EN LAS
CIUDADES DE MOYOBAMBA, LAMAS, TARAPOTO, JUANJUÍ Y
TOCACHE”

Tesis para optar el título profesional de:
Ingeniera Ambiental

Presentado por:
María Claudia Rivero Paucar (0000-0002-1540-7941)

Asesor:
César Oswaldo Arévalo Hernández (0000-0002-1390-3503)

Coasesor:
Fiorella Arantxa Barraza Castelo (0000-0003-3928-1834)

Lima - Perú
2021

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 17 de septiembre de 2021.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Mg. Santiago Hilarión Pastor Soplín
Miembro: Mg. Marisol Nuñez Martínez
Miembro: Mg. Roxana Yanet Díaz Vega

Se reúnen para evaluar la tesis titulada: "Determinación del riesgo potencial por ingesta de alimentos contaminados con metales pesados en las ciudades de Moyobamba, Lamas, Tarapoto, Juanjui y Tocache."

Presentada por el bachiller:

- María Claudia Rivero Paucar

Para optar al Título Profesional de ingeniero(a) ambiental.

Asesorada por: Mg. César Oswaldo Arévalo Hernández y coasesorada por Dra. Fiorella Barraza Castelo

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño del(a) estudiante de la carrera de ingeniería ambiental en la sustentación, conducen de manera unánime (X) por mayoría simple () calificar a:

Tesis: María Claudia Rivero Paucar			Nota (en letras): 19
Aprobado ()	Aprobado - Muy buena ()	Aprobado - Sobresaliente (X)	Desaprobado ()

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



Mg. Santiago Hilarión Pastor Soplín
Presidente del Jurado



Mg. César Oswaldo Arévalo Hernández
Asesor



Mg. Marisol Nuñez Martínez
Miembro del jurado



Dra. Fiorella Barraza Castelo
CoAsesora



Mg. Roxana Yanet Díaz Vega
Miembro del jurado

T.// (51) 610 6738
informes@cientifica.edu.pe
cientifica.edu.pe

I. DEDICATORIA

A mi papá Román Rivero, que desde el cielo guía mi camino y fue quien me enseñó sobre la humildad y la valentía, quien me impulsó a seguir adelante; a mi mamá, Isabel Paucar quien me da el carácter para sobresalir ante las adversidades y es mi empuje en todo momento; a mis hermanos Fernando y Carlos, quienes son mi ejemplo de crecimiento y perseverancia; a mis sobrinos Joaquim y Chiara, quienes me dieron alegría y tranquilidad, y a todas las personas que estuvieron presentes en mi desarrollo personal y profesional.

Infinitas gracias.

II. AGRADECIMIENTOS

Primero a Dios por darme salud y la fortaleza que necesitaba para desarrollar la tesis pese a los momentos difíciles; y mostrarme que su tiempo es perfecto.

A mis asesores César y Fiorella, por los conocimientos brindados, su paciencia y confianza.

A todo el equipo del Instituto de Cultivos Tropicales por la acogida y dame el espacio para poder desarrollar este proyecto.

A Prociencia por el Financiamiento del proyecto al Contrato N° 394-2019-FONDECYT.

A mi papá que desde pequeña me enseñó a ser perseverante y ahora que está en el cielo sigue siendo mi guía y fuerza. A mi mamá que siempre estuvo pendiente de mi salud física y emocional en todo este proceso, a mis hermanos por su apoyo constante, a Renato por sus palabras de aliento. Finalmente, a todos mis familiares y amigos quienes desde el día uno me dieron sus mejores deseos.

III. ÍNDICE GENERAL	
I. DEDICATORIA	3
II. AGRADECIMIENTOS	4
III. ÍNDICE GENERAL.....	5
IV. INDICE DE FIGURAS	8
V. INDICE DE TABLAS.....	9
VI. INDICE DE ANEXOS	10
VII. RESUMEN	11
VIII. ABSTRACT	12
IX. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
X. MARCO TEÓRICO	15
10.1. DESCRIPCIÓN DE ESPECIES	15
10.1.1. Arroz	15
10.1.2. Lechuga	15
10.1.3. Ají charapita	16
10.1.4. Aguaje	16
10.2. METALES	17
10.2.1. Metales pesados	18
10.3. FACTOR DE RIESGO	20
10.3.1. Dosis diaria promedio (ADD)	21
10.3.2. Frecuencia y duración de la exposición	21
10.3.3. Cociente de riesgo (HQ)	21

10.3.4. ÍNDICE DE RIESGO (HI).....	22
10.4. ESTÁNDARES DE INGESTA DE METALES PESADOS.....	22
10.4.1. Organización Mundial de la Salud (OMS).....	22
10.4.2. Unión Europea	22
10.5. ANTECEDENTES	23
XI. OBJETIVOS Y/O HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	25
11.1. OBJETIVOS.....	25
11.1.1. Objetivo General	25
11.1.2. Objetivos específicos.....	25
XII. METODOLOGÍA.....	26
12.1. ÁREA DE ESTUDIO.....	26
12.2. ENCUESTA DE CONSUMO	27
12.3. ASPECTO ÉTICO DE LA ENCUESTA.....	27
12.4. TOMA DE MUESTRAS	28
12.5. FASE DE TRATAMIENTO DE MUESTRAS	30
12.5.1. Pretratamiento de muestras	30
12.5.2. Determinación de metales pesados.....	30
12.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	32
12.7. ANÁLISIS DE RIESGO.....	32
12.7.1. Dieta sugerida (g/día)	33
12.7.2. Dosis diaria promedio (ADD)	33
12.7.3. Cociente de riesgo (HQ)	34
12.7.4. Índice de peligro (HI)	34
XIII. RESULTADOS.....	35

13.1. CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS (Cd, Pb Y Ni).	35
13.2. ANÁLISIS DE RIESGO	40
13.2.1. Cociente de riesgo (HQ) por alimento	41
13.2.2. Cociente de riesgo total	42
13.2.3. Índice de peligro (HI)	43
XIV. DISCUSIÓN	44
XV. CONCLUSIONES	52
XVI. RECOMENDACIONES	53
XVII. REFERENCIAS	55
XVIII. ABREVIATURAS	68
XIX. ANEXOS	70

IV. INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo.	26
Figura 2. Concentración de Cd en las verduras seleccionadas en comparación con la concentración límite tolerable de ingesta de metales pesados en alimentos de la WHO (2011).	37
Figura 3. Concentración de Pb en las verduras seleccionadas en comparación con la concentración límite tolerable de ingesta de metales pesados en alimentos de la WHO (2011).	38
Figura 4. Concentración de Ni en las verduras seleccionadas en comparación con la concentración límite tolerable de ingesta de metales pesados en alimentos de la WHO (2008).	39
Figura 5. Índice de peligro (HI) en adultos (18-65 años) y niños (06-11 años) por ingesta de alimento con concentraciones de metales pesados en las ciudades Tocache, Juanjuí, Tarapoto, Lamas y Moyobamba.	43

V. INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ecuación de la dosis promedio diaria.	21
Tabla 2. Ecuación del cociente de riesgo.	22
Tabla 3. Exposición media según OMS.	22
Tabla 4. Concentración máxima permitida según Unión Europea.	23
Tabla 5. Cantidad de muestras a recolectadas en un mes.	29
Tabla 6. Concentración de metales pesados en las verduras seleccionadas en comparación con la concentración del límite tolerable de ingesta de metales pesados en alimentos de la WHO, (2011) y su significancia ($p < 0.05$).	36
Tabla 7. Dieta sugerida en las ciudades de Tocache, Juanjuí, Tarapoto, Lamas y Moyobamba.	40
Tabla 8. Parámetros para el cálculo de los índices de riesgo.	40
Tabla 9. Cociente de riesgo (HQ) por alimento en adultos y niños.	41
Tabla 10. Cociente de riesgo (HQ) total en adultos y niños.	42

VI. INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Formato de consentimiento informado.....	70
Anexo 2. Formato de encuesta de consumo de alimentos.....	71
Anexo 3. Estándares de ingesta de metales pesados.	72
Anexo 4. Base de datos de la concentración de metales pesados.....	72
Anexo 5. Límites de detección (LOD) y de cuantificación (LOQ) del ICP-MS así como el límite de detección del método de mineralización (MDL).....	74
Anexo 6. Rendimiento (% R) del material de referencia certificado	74
Anexo 7. Curva de calibración Ni.	74
Anexo 8. Curva de calibración Cd.	75
Anexo 9. Curva de calibración Pb.....	75
Anexo 10. Toma de muestras – compras en los mercados.....	76
Anexo 11. Consulta de la procedencia de los alimentos.	76
Anexo 12. Selección y limpieza de los alimentos.	76
Anexo 13. Molienda a mano de arroz.	77
Anexo 14. Envasado y rotulado de muestras.	77
Anexo 15. Sala de preparación de muestras Clase 10,000, laboratorio SWAMP. A. Cabina de flujo laminar donde se pesaron las muestras y se agregó el HNO ₃ . B y C. Ultraclave donde se realizaron las mineralizaciones.....	77
Anexo 16. ICP-MS quadropole ICAP-Qc (ThermoFisher), laboratorio SWAMP.	78

VII. RESUMEN

La contaminación de alimentos por metales pesados es una problemática de vital importancia para la seguridad alimentaria y la salud de las personas. Por ello, es fundamental conocer el riesgo a la exposición a través de la ingesta. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el riesgo potencial por ingesta de Cd, Pb y Ni en el arroz (*Oryza sativa*), lechuga (*Lactuca sativa*), aguaje (*Mauritia flexuosa*) y ají charapita (*Capsicum frutescens*), adquiridos en los principales mercados de las ciudades de Moyobamba, Lamas, Tarapoto, Juanjuí y Tocache. Para este propósito se desarrollaron encuestas de consumo en las principales ciudades de la región San Martín (Tocache, Juanjuí, Tarapoto, Lamas y Moyobamba) y se colectaron muestras de arroz, lechuga, ají charapita y aguaje en los principales mercados de estas ciudades. Las muestras pasaron por un proceso de lavado, secado y molienda para determinar las concentraciones de Cd, Pb y Ni mediante la técnica de ICP-MS. Con esta información se realizaron cálculos de análisis de riesgo, dosis diaria promedio (ADD), cociente de riesgo (HQ) y el índice de peligro (HI). Los resultados expresan que la mayoría de las concentraciones de Cd, Pb y Ni en los alimentos evaluados sobrepasan los estándares permitidos estipulados por la WHO, (2007), Unión Europea, (2006) y el Codex Stan 193-1995, (2009). Se destacó que pese a tener altos niveles de metales pesados en arroz (*Oryza sativa*), lechuga (*Lactuca sativa*), aguaje (*Mauritia flexuosa*) y ají charapita (*Capsicum frutescens*) podrían no inducir a un riesgo potencial a la salud en la región San Martín. Sin embargo, al diferenciar el índice de peligro entre adultos y niños, se vio que este último es el más expuesto por el consumo total de estos alimentos, especialmente la ciudad de Juanjuí.

Palabras claves: metales pesados, cadmio, plomo, níquel, arroz, lechuga, ají charapita, aguaje, riesgo, peligro, ingesta.

VIII. ABSTRACT

Heavy metal food contamination is a vital problem for food security and human health. Therefore, it is essential to know the risk of exposure through intake. This research aimed to assess the potential risk from intake of Cd, Pb and Ni in rice (*Oryza sativa*), lettuce (*Lactuca sativa*), aguaje (*Mauritia flexuosa*) and chili charapita (*Capsicum frutescens*), which were acquired in the main markets of the cities of Moyobamba, Lamas, Tarapoto, Juanjui and Tocache. For this purpose, consumer surveys were conducted in the main cities of the San Martín region (Tocache, Juanjui, Tarapoto, Lamas y Moyobamba) and samples of rice, lettuce, chili charapita and aguaje were collected in the main markets of these cities. The samples went through a washing, drying and grinding process to determine the concentrations of Cd, Pb and Ni using the ICP-MS technique. This information performed risk analysis, average daily dose (ADD), hazard quotient (HQ), and hazard index (HI) calculations. The results state that most concentrations of Cd, Pb and Ni in the food evaluated exceed the permitted standards stipulated by WHO, (2007), the European Union, (2006) and Codex Stan 193-1995, (2009). It was noted that, despite having high levels of heavy metals in rice (*Oryza sativa*), lettuce (*Lactuca sativa*), aguaje (*Mauritia flexuosa*) and charapita chili (*Capsicum frutescens*), could not induce a potential health risk in the San Martín region. However, by differentiating the risk rate between adults and children, it was seen that the latter is most exposed by total consumption of these foods, especially in the city of Juanjui.

Keywords: heavy metals, cadmium, lead, nickel, rice, lettuce, charapita chili, aguaje, risk, danger, intake.

IX. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, una de las mayores problemáticas socioambientales es la sobrepoblación y su impacto en el ambiente, que afecta la salud de las personas. Según lo comunicado por la ONU, (2019) se espera que la población mundial aumente de 7,700.000 a 9,700.000 de habitantes para el año 2050. Este incremento poblacional trae como consecuencia una mayor demanda de alimentos y recursos naturales. Se estima que el sector agrícola es el mayor usuario de recursos naturales en el mundo ya que utiliza aproximadamente el 11% de la superficie terrestre y el 70 % de las aguas superficiales (FAO, 2012). De acuerdo con el último censo realizado en el 2017, el Perú cuenta con 31,237.385 habitantes y la región San Martín con 813.400 habitantes (INEI, 2018).

En el censo realizado en el 2012 por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), se estimó que la superficie agropecuaria en el Perú por región es: costa 11,5 %, sierra 57,5% y selva 31% (Mostajo Ocola, 2018). Debido a la gran demanda de alimentos y la premura por obtener más cantidad de productos agrícolas, los agricultores no toman en cuenta las buenas prácticas agrícolas y hacen uso inadecuado de pesticidas, fertilizantes y agroquímicos que pueden contener metales pesados. Estos elementos no solo se acumulan en el suelo, sino también pueden ser absorbidos por las plantas ingresando a la cadena trófica. Además, pueden contaminar las aguas subterráneas y superficiales, las cuales muchas veces son usadas para el riego de alimentos que luego son consumidos por las personas y animales, teniendo así un ciclo de contaminación (FAO, 2018) . Los nutrientes (o elementos esenciales) de los tejidos de una planta están directamente relacionados con la concentración de estos en el suelo -en especial con la fracción disponible- y su capacidad para intercambiar los nutrientes necesarios y agua con las raíces de la planta (FAO, 2018). Todo lo mencionado también se engloba dentro el sistema alimentario sostenible, en donde participan todos los procesos y actividades en relación a

la producción, elaboración, distribución, preparación y consumo de alimentos, cuyo objetivo es garantizar la seguridad alimentaria y la adecuada nutrición de las personas; evitando poner en riesgo las bases económicas, sociales y ambientales (FAO, 2021).

Los metales se encuentran en el ambiente de manera natural y antrópica, cumplen una función importante dentro del sistema terrestre y en los organismos que habitan de ella; en este último se encuentran los seres humanos quienes requieren de concentraciones reducidas de ciertos metales pesados para algunas de sus funciones biológicas (Londoño Franco et al., 2016); como el metabolismo celular, actividades catalíticas, síntesis de proteínas, división celular, eliminación o neutralización de radicales libres, entre otros (Osredkar & Sustar, 2011). Existen diferentes vías de exposición de estos metales, siendo una de ellas a través de la ingesta de alimentos contaminados. Si estos contienen concentraciones ligeramente elevadas pueden actuar de manera negativa ocasionando daños severos de tipo nutricional, toxicológico y hasta oncológico en los seres humanos y problemas ecotoxicológicos en el ambiente (Ferré-Huguet et al., 2007). Las principales complicaciones por absorción de Pb son encefalopatía, problemas de crecimiento fetal, neurofisiológicos, auditivos, variabilidad en el ritmo cardiaco, anemia, presión alta e inmunosupresión (Skerfving & Bergdahl, 2015); en Cd se observan trastornos pulmonares, daño hepático, presión alta, anemia y osteoporosis (Nordberg et al., 2007), y en Ni; neumonía, fibrosis, asma, sinusitis y efectos nefrotóxicos (Klein & Costa, 2015).

En todo lo descrito se expresa las consecuencias de la concentración de metales pesados (Pb, Cd y Ni) en alimentos y su riesgo para la salud pública. Pese a ello, en el Perú la información respecto a lo descrito es escasa o inexistente (Otero et al., 2020). En base a la problemática planteada, es de importancia evaluar el riesgo a la salud asociado a la ingesta de estos metales pesados en alimentos de las diferentes ciudades de la región San Martín.

X. MARCO TEÓRICO

10.1. Descripción de especies

10.1.1. Arroz

El arroz (*Oryza sativa*) pertenece a la familia Poaceae. Este cultivo tiene estructuras adaptadas para el desarrollo bajo condiciones semi acuáticas y acuáticas (Rodríguez, 2017). Los factores climáticos que influyen en el cultivo de arroz son la temperatura, precipitación y radiación solar (De Datta, 1981). Este crece en climas tropicales húmedos, a temperaturas superiores a 30°C incrementan su formación, caso contrario a temperaturas por debajo de 13°C (Salazar, 1986) y su pH óptimo para su cultivo es de 6.6 (Infoagro, 2020). Este es un alimento básico con mucha influencia en 17 países de Asia y el Pacífico, 9 países de América latina y 8 países en África (FAO, 2004). En el Perú las regiones productoras de arroz cáscara son Piura, Lambayeque, Amazonas y San Martín, este último es considerado como uno de los productores más importantes del país (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2019), en donde las principales zonas arroceras son los valles de Alto Mayo y Huallaga Central (Instituto Nacional de Innovación Agraria, 2019).

10.1.2. Lechuga

La lechuga (*Lactuca sativa*), pertenece a la familia Compositae. Las hojas de la lechuga son lanceoladas, oblongas o redondas (Granval et al., 1991). El clima óptimo para su cultivo se encuentra entre 1800 y 2700 msnm, con temperaturas de 15 y 18 °C (Whitaker T. et al., 1964). Los suelos en donde crecen mejor son los arenosos-limosos, que llevan buen drenaje y a un pH óptimo de 6.7 y 7.4. En épocas de verano es preferible los suelos con abundante materia orgánica (Infoagro, 2019). En el Perú el cultivo de la lechuga tiene importancia en la Costa Central dado a las buenas condiciones que se presentan en el cultivo (Floríndez Chávez et al., 2012).

10.1.3. Ají charapita

El ají charapita (*Capsium frutescens*), es una especie nativa de América y es cultivada en toda la cuenca amazónica (Linnaeus, 2018). Este es un arbusto perteneciente a la familia solanáceas. Tiene un tamaño muy pequeño, su forma esférica mide un máximo de ¼ cm de diámetro y posee un color amarillo y rojo. La temperatura óptima para su floración y fructificación es de entre 26 a 28 °C y crecen mejor en suelos franco-arenosos con contenido de materia orgánica del 3 a 4% y a un pH de entre 6.5 a 7 (Luna, 2014). Es uno de los recursos agrícolas con mayor potencial económico en el Perú (Caretur, 2021) y es cultivado en diversas regiones como Amazonas, Loreto, San Martín, Huánuco, Ucayali, Pasco, Junín, Madre de Dios y Cusco (Jager et al., 2013). No obstante, las regiones con mayor producción de ají charapita son Loreto, San Martín, Ucayali y Madre de Dios (Tokumori Pinna, 2018).

10.1.4. Aguaje

El aguaje (*Mauritia flexuosa*), una especie de la familia Arecaceae (Uhi et al., 1987). Su distribución se da a lo largo del norte de Sudamérica, donde a menudo forma grandes asociaciones en tierras acidas y anegadas. (Borgtoft et al., 1990). La palmera que da fruto al aguaje tiene raíces aéreas (neumatóforos) y es considerada una de las pocas palmeras que tiene la capacidad de crecer con el sistema radicular sumergido en los pantanos (Del Castillo et al., 2006). Crece en climas tropicales húmedos, con temperaturas de entre 18 a 28°C y un promedio de precipitación máxima anual de 3000 mm. La época de cosecha se da aproximadamente a los ocho años (Nicho Pretell, 2018). Tiene distintos nombres en varios países, por ejemplo; en Colombia es moriche, canangucha, cananguche o canangucho. Buriti en Brasil, morete en Ecuador, palma real en Bolivia y aguaje en el Perú (Trujillo et al., 2011). En la amazonia peruana su fruto es considerado el más importante en el mercado urbano y proporciona ingresos a la población (Del Castillo et al., 2006). En

el Perú el cultivo del aguaje es desarrollado en los departamentos de Loreto, San Martín, Amazonas, Huánuco y Junín (Nicho Pretell, 2018).

10.2. Metales

Los metales se dividen en dos grupos: (i) los metales esenciales que son requeridos en la dieta de los organismos (Domenech & Peral, 2006), dentro de este grupo se encuentran ciertos metales pesados como el Cu, Zn y Fe, los mismos que los seres vivos, requieren en pequeñas cantidades para algunas de sus funciones biológicas (Londoño Franco et al., 2016). Sin embargo, pueden actuar de manera negativa ocasionando daños severos de tipo nutricional, toxicológico y hasta oncológico en los seres humanos y problemas ecotoxicológicos en el ambiente (Ferré-Huguet et al., 2007). Luego están (ii) los metales no esenciales, que no son requeridos en la dieta de los organismos, dentro de las cuales se encuentran los metales pesados cuyos pesos atómicos son relativamente altos en el rango de 63.5 a 206 g/mol y a densidades superiores a 5 gr/cm³ (Srivastava & Majumder, 2008). Estos se movilizan en el agua, suelo y aire, son persistentes dado que no pueden ser degradados (Reyes et al., 2016). Los metales pesados se encuentran de forma natural en concentraciones bajas en la corteza terrestre (Koller et al., 2018) pero debido a las actividades humanas como la minería, procesos industriales y agrícolas han llevado a que tengan una distribución generalizada, induciendo a su potencial bioacumulación en la cadena alimenticia, ocasionando riesgo para la salud pública y el ecosistema. Algunos de estos metales son: Pb, Ni y Cd (García et al., 2002). Ambos grupos forman parte de la corteza terrestre de manera natural y tienen un papel importante en los organismos dado que participan dentro de sus procesos químicos y fisiológicos.

10.2.1. Metales pesados

Los metales pesados son considerados como potenciales tóxicos ambientales que dentro de sus características más comunes son la persistencia, bioacumulación, biotransformación y elevada toxicidad (Rodríguez Heredia, 2017). En algunos casos los seres vivos necesitan de una cierta cantidad de estos elementos para que sus sistemas biológicos funcionen adecuadamente. Estos siguen vías ambientales naturales como el agua, suelo, alimentos, rutas atmosféricas y desechos. Las principales vías de su acceso al organismo a partir de los sistemas naturales se originan por medio de las rocas ígneas, minerales de sulfuros volcanes, manantiales termales y procesos de meteorización que son transportados por aguas superficiales o acuíferas. La combinación de aportes naturales y antropogénicos son los que causan daños al ambiente (Siegel, 2013).

La absorción de estos metales potencialmente tóxicos en la planta depende de las características del suelo (químicas y físicas) y de las especies cultivadas (Li et al., 2018). Cuando estos se encuentran en la cadena alimenticia pueden bioacumularse hasta convertirse en peligrosos, en donde los consumidores pueden sufrir consecuencias a la salud por su ingestión (Siegel, 2013). La Agencia de Protección Ambiental (EPA) realizó una lista con los elementos contaminantes prioritarios (US EPA, 2014) y por su lado, la Agencia Internacional para la Investigación sobre Cáncer (IARC) determinó una lista de identificación de peligros carcinogénicos para los humanos las cuales están divididos por grupos: Grupo 1: Carcinogénico para humanos, Grupo 2A: Probablemente carcinogénico para humanos, Grupo 2B: posiblemente carcinogénico para humanos y Grupo 3: No clasificado como carcinogénico para humanos (IARC, 2021). En ambas listas se encuentran el Cd, Pb y Ni evaluados en la presente investigación.

a. Cadmio

El cadmio (Cd) es un elemento no esencial que se encuentra presente de manera natural en los suelos en forma de catión divalente (Cd^{2+}) y en concentraciones que van de 0.1 a 1.0 mg/kg (Alloway, 2012). Este elemento es uno de los metales pesados más tóxicos y es habitual encontrarlo en mayor cantidad en compuestos de zinc. Es liberado al ambiente mediante la extracción y refinación de metales no ferrosos, procesos de manufactura, combustión de combustible fósiles, fabricación de baterías, incineración de residuos sólidos y/o en la aplicación de fertilizantes fosfatados. El cadmio puede acumularse tanto en organismos acuáticos como en las cosechas agrícolas (ATSDR, 2021). Éste tiende a adherirse en la materia orgánica para luego ser absorbido por las plantas e incorporado a la cadena trófica (ATSDR, 2012). También, ha sido clasificado por la Agencia Internacional para la Investigación sobre Cáncer (IARC) como carcinógeno para humanos (grupo 1) en pulmón, riñón, hígado y próstata (WHO, 2011).

b. Plomo

Plomo (Pb) es un metal gris, blando y maleable considerado no esencial. Es un catión divalente que se une con los grupos sulfhidrilo de las proteínas (Azcona Cruz et al., 2015). Está presente de forma natural y en pequeñas cantidades en la corteza terrestre. No obstante, su amplia distribución en el ambiente es proveniente también de las actividades mineras, manufactura industrial y de la quema de fósiles. La aplicación de plomo en las actividades del hombre es recurrente, por ejemplo, en la fabricación de baterías, municiones, soldaduras, cañerías, pinturas, cerámicas entre otros (ATSDR, 2016).

La Agencia Internacional para la Investigación sobre Cáncer (IARC) clasificó como carcinógeno para humanos (grupo 2) para compuestos de plomo inorgánico (WHO, 2011). El plomo tiene dos principales vías de exposición, por inhalación de partículas (generadas por combustión) y la ingesta de polvo, agua o alimentos contaminados (Nava Ruíz &

Méndez Armenta, 2011). El saturnismo o intoxicación por plomo (presencia de una plumbemia sanguínea superior a 100 $\mu\text{g/l}$) causa en las personas, especialmente los niños; anemia y toxicidad neurológica (Dollfus, 2014). Así también, hipertensión, enfermedades cardiovasculares, entre otros (ATSDR, 2007).

c. Níquel

El níquel (Ni) es un metal no esencial que también se encuentra de manera natural en la corteza terrestre en combinación con otros elementos; su contenido depende del material parental que le dio origen. Este elemento es muy requerido ya que muestra facilidad para combinar o formar mezclas con otros metales como por ejemplo, Fe, Cu, Cr y Zn (ATSDR, 2005) ya que es de característica siderofílica. Su abundancia media en la corteza terrestre se estima alrededor de 20 mg/kg. Su concentración se reduce con el incremento de acidez de las rocas (Muñiz Ugarte et al., 2015). Puede ser liberado al ambiente por chimeneas de plantas de energía y por las aguas residuales de diferentes tipos de industrias. Las consecuencias por ingesta son el aumento de glóbulos rojos, bronquitis crónica, disminución de la función pulmonar y cáncer (ATSDR, 2005). La Agencia Internacional para la Investigación sobre Cáncer (IARC) clasificó como posiblemente carcinógeno para humanos (grupo 2B) para compuestos metálicos de níquel (IARC, 1990).

10.3. Factor de riesgo

El riesgo es la probabilidad de ocurrencia o exposición al peligro. Cuando se habla de factores de riesgo en términos de salud hace referencia a cualquier peculiaridad, característica o exposición de un individuo a que incremente su probabilidad de adquirir alguna enfermedad o lesión (OMS, 2021). Para calcular el riesgo por ingesta de metales pesados a través de alimentos se requiere de las siguientes definiciones:

10.3.1. Dosis diaria promedio (ADD)

La dosis diaria promedio es la tasa de dosis promediada durante un periodo de exposición específico de la vía expresada como dosis de peso corporal. Las unidades en las cuales se expresa es $\text{mg kg}^{-1}\text{día}^{-1}$ (US EPA, 1992).

Tabla 1. Ecuación de la dosis promedia diaria.

$$\text{ADD} = (\text{Ci} * \text{IR} * \text{EF} * \text{ED}) / (\text{BW} * \text{AT})$$

Ci	Concentración del metal pesado (mg g^{-1})
IR	Tasa de ingestión (g/día)
EF	Frecuencia de exposición (días/año)
ED	Duración de la exposición (años)
BW	Peso corporal del consumidor (kg)
AT	Tiempo promedio (días)

10.3.2. Frecuencia y duración de la exposición

La frecuencia de exposición es la constancia con que una persona está en contacto con una sustancia química y la duración a la exposición es el tiempo en el que las personas estuvieron relacionados a una sustancia química (ATSDR, 2008).

10.3.3. Cociente de riesgo (HQ)

El riesgo no cancerígeno se determina mediante el Hazard Quotients (HQ) (US EPA, 2001). Este índice toma en cuenta una serie de parámetros que nos permiten hacer una estimación de la exposición de la población, en base a la concentración de un metal encontrada en el momento de la recolección de muestras respecto a la frecuencia de consumo, el tiempo de exposición, el peso corporal y el grupo de poblacional (niños vs adultos). El cociente de riesgo es la relación entre la exposición a una sustancia y el nivel en donde no se ocasionan efectos adversos, es decir; el valor crónico o agudo adecuado (EPA, 2018).

Tabla 2. Ecuación del cociente de riesgo.

$$HQ = \frac{ADD}{RfD}$$

ADD	Dosis diaria promedio ($\text{mg kg}^{-1}\text{día}^{-1}$)
RfD	Referencia de dosis ($\text{mg kg}^{-1}\text{día}^{-1}$)

Fuente: Elaboración propia

Los valores de la dosis de referencia (RfD) fueron obtenidos de la US EPA (2019).

10.3.4. Índice de riesgo (HI)

El índice de riesgo es la suma total de los cocientes de riesgo evaluados que puede inducir en la salud de las personas (EPA, 2018).

10.4. Estándares de ingesta de metales pesados

10.4.1. Organización Mundial de la Salud (OMS)

La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece límites tolerables para la exposición media de metales pesados por día, semana y mes en las personas.

Tabla 3. Exposición media según OMS.

Exposición media		
Pb	Cd	Ni
Dieta diaria por peso corporal	Ingesta tolerable mensual	Consumo tolerable diario
0.003 mg kg^{-1}	0.025 mg kg^{-1}	0.012 mg kg^{-1}
(WHO, 2011)	(WHO, 2011)	(Kabata-Pendias et al., 2015)

10.4.2. Unión Europea

La Unión Europea en su reglamento (CE) n° 1831/2003, indica que la concentración máxima permitida de metales pesados en alimentos, las cuales no ocasionan daños a la salud pública; se da de acuerdo con el metal.

Tabla 4. Concentración máxima permitida según Unión Europea.

Concentración máxima permitida						
Pb			Cd			
Hortalizas (peso fresco)	Cereales y legumbres (peso fresco)	Frutas no pequeñas (peso fresco)	Hortalizas de hoja (peso fresco)	Hortalizas de fruto (peso fresco)	Cereales y legumbres (peso fresco)	Frutas no pequeñas (peso fresco)
0.10 mg kg ⁻¹	0.20 mg kg ⁻¹	0.10 mg kg ⁻¹	0.20 mg kg ⁻¹	0.050 mg kg ⁻¹	0.20 mg kg ⁻¹	0.050 mg kg ⁻¹
(Unión Europea, 2006)						

10.5. Antecedentes

La contaminación de metales pesados en los alimentos que consumimos existe alrededor de todo el mundo. En una investigación realizada en la Metrópolis de Tamale, Ghana por Ametepey et al. (2018), donde las aguas residuales se usan para el riego de sus cultivos; recolectaron el repollo, zanahoria, pimiento verde, cebolla y tomate, al azar de tres vendedores, dos veces consecutivas y en el intervalo de un mes en los cuatro principales mercados de Tamale, donde se observaron los siguientes rangos de concentración de Cd 0,04 a 0,07 mg kg⁻¹, de 0,01 a 0,06 mg kg⁻¹, de 0,04 a 0,06 mg kg⁻¹, de 0,03 a 0,06 mg kg⁻¹ y de 0,03 a 0,07 mg kg⁻¹ respectivamente.

Olivares Arias et al. (2015) en su estudio describe que existen diversos países que muestran una ingesta dietética con Ni, por ejemplo, Alemania muestra una ingesta diaria de 0.025-0.035 mg día⁻¹, España 0.138 mg día⁻¹, entre otros.

Por su parte, Barraza et al. (2018) desarrolló un estudio en las provincias ecuatorianas de Orellana y Sucumbíos; en donde encontró altas concentraciones de metales esenciales y no esenciales en el agua potable, aire, suelo y los cultivos de plátano, limón, durazno, guanábana, yuca, caimito, granos de cacao y café. También evaluó el riesgo a la salud humana asociado a las principales vías de exposición; siendo una de ellas por ingestión de

cultivos. Se observó que el riesgo potencial de efectos no cancerígeno -a través del cociente riesgo (HQ)-, era más alto para elementos como el Mn y Ba, probablemente debido al consumo continuo de plátanos, piñas y limón. Así también el riesgo de cáncer (CR) más alto por ingestión fue por causa del As.

En el Perú no se han realizado muchos estudios relacionados al riesgo asociado a la ingesta de alimentos contaminados con metales pesados. Sin embargo, es de importancia mencionar que debido a que la mayoría de los suelos contienen de manera natural proporciones altamente variables de metales pesados (Kabata-Pendias, 2001) y sumados a los generados por el hombre, es recomendable evaluar si los alimentos que ingerimos contienen cantidades considerables de estos. Arévalo-Gardini et al. (2017) por ejemplo, evaluó los suelos, plantaciones y frutos del cacao en diversas regiones del Perú como Tumbes, Piura, Cajamarca, Amazonas, Junín, Cusco, Huánuco y San Martín, las cuales presentan concentraciones de Cd, Pb y Ni. Lo que lleva a deducir que también se puede encontrar los metales mencionados en diversos alimentos de mayor consumo.

Riveros, (2014) analizó el nivel de contaminación de metales pesados en el suelo y sus efectos en hortalizas como la lechuga, apio, repollo y brócoli en el Valle Higuera – Huánuco, donde obtuvo concentraciones de Cd en el agua de riego cercanas a la norma nacional e internacional, mientras que las concentraciones en el suelo se mantuvieron dentro del rango normal. Del mismo modo, la lechuga y el apio evidenciaron contaminación por Cd y para todas las hortalizas contaminación por Pb, superando así los valores establecidos por la Unión Europea.

Asimismo, Huaranga et al. (2012) mostró niveles representativos de metales pesados en el agua, suelos y cultivos de la cuenca del río Moche, La Libertad, donde la yuca fue el alimento con concentraciones altas de metales pesados.

Por otra parte, el SENASA, (2017) en su Plan Anual de Monitoreo de Contaminantes en Alimentos Agropecuarios (origen animal y vegetal) evaluó la presencia de residuos químicos (plaguicidas, medicamentos veterinarios, etc.), toxinas, metales pesados, entre otros. En donde encontraron concentraciones As, Cd y Pb en carne de bovino, leche cruda y miel de abeja, pero no se evaluaron estos elementos en los vegetales.

XI. OBJETIVOS Y/O HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

11.1. Objetivos

11.1.1. Objetivo General

Determinar el riesgo potencial por ingesta de metales pesados en arroz (*Oryza sativa*), lechuga (*Lactuca sativa*), aguaje (*Mauritia flexuosa*) y ají charapita (*Capsicum frutescens*), en los principales mercados de las ciudades de Moyobamba, Lamas, Tarapoto, Juanjuí y Tocache.

11.1.2. Objetivos específicos

- Determinar las concentraciones de cadmio (Cd), plomo (Pb) y níquel (Ni) en alimentos como el arroz (*Oryza sativa*), lechuga (*Lactuca sativa*), aguaje (*Mauritia flexuosa*) y ají charapita (*Capsicum frutescens*).
- Analizar el riesgo para la salud y su relación con la calidad de hortalizas y alimentos amazónicos consumidos en los principales mercados de las ciudades de Moyobamba, Lamas, Tarapoto, Juanjuí y Tocache.
- Comparar los resultados obtenidos con los límites tolerables permitidos por la OMS.

XII. METODOLOGÍA

12.1. Área de estudio

El estudio se realizó en el mercado principal de cada una de las cinco ciudades de la Región San Martín; siendo estos Moyobamba (MM-01), Lamas (ML-02), Tarapoto (MT -03), Juanjuí (MJ-04) y Tocache (MTO - 05). Las cuales dan abasto para aproximadamente 813.4 mil habitantes (INEI, 2018). Dichos mercados reciben los alimentos cultivados en diferentes regiones del Perú. En ese sentido, el arroz (*Oryza sativa*) y el ají charapita (*Capsicum frutescens*) procede de San Martín, la lechuga (*Lactuca sativa*) de Huánuco y/o Lambayeque y el aguaje (*Mauritia flexuosa*) de Loreto (R. Tenazoa del Águila, comunicación personal, 2019).

Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo.



Fuente: Google earth

12.2. Encuesta de consumo

Se desarrolló una encuesta de la frecuencia del consumo de arroz (*Oryza sativa*), lechuga (*Lactuca sativa*), aguaje (*Mauritia flexuosa*) y ají charapita (*Capsicum frutescens*) en el tercer y cuarto mes de proyecto tal y como se muestra en la tabla 2 de la presente. Se llevó a cabo virtualmente mediante la página web *Survey Monkey* (Enlace de acceso en el Anexo 2) y la página oficial de la red social *Facebook* del Instituto de Cultivos Tropicales, el mismo que se encargó de publicitar la encuesta con el fin de tener mayor alcance en cada una de las cinco ciudades de la Región San Martín; siendo estos Moyobamba (MM-01), Lamas (ML-02), Tarapoto (MT -03), Juanjuí (MJ-04) y Tocache (MTO - 05). El tiempo para resolver las encuestas fue de entre 05 a 10 minutos. El número objetivo evaluado fue de 383, 382, 383, 382 y 382 personas en Moyobamba, Lamas, Tarapoto, Juanjuí y Tocache respectivamente. Teniendo en cuenta un rango de edades de entre 18 a 65 años y considerando que dentro de ello se consultó el número de personas (adultos y niños) que conforman su hogar.

El tamaño de la muestra (n) se realizó de acuerdo con la siguiente fórmula estadística (Villavicencio Caparó, 2018):

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{e^2(N - 1) + Z^2 * p * q}$$

N: Número de población
Z²: 1.96 para un nivel de confianza de 95%

p: 50%

q: 1-p

e: 5 %

12.3. Aspecto ético de la encuesta

Se aplicó el consentimiento informado (ver anexo 1) al momento de la publicación de la encuesta y antes de iniciar su desarrollo. En donde el participante tuvo la opción de aceptar o no en realizar la encuesta.

12.4. Toma de muestras

Se realizó compras separadas en tres puestos de cada mercado principal de las ciudades a evaluar. A su vez, se recolectó en promedio una unidad de cada alimento arroz (*Oryza sativa*), lechuga (*Lactuca sativa*), aguaje (*Mauritia flexuosa*) y ají charapita (*Capsicum frutescens*). En el caso del arroz y el ají charapita se tuvo en consideración que cada unidad de paquete debe contener al menos 250 g (FAO, 1997). En total se colectó alrededor de 3 unidades de muestra por cada alimento y por cada mercado como se observa en la tabla 1. Durante la recolección de las muestras se consultó la procedencia de cada producto y el día de ingreso de ellos a modo de validación y registro. Las muestras debidamente rotuladas fueron transportadas al laboratorio del Instituto de Cultivos Tropicales (ICT) en la ciudad de Tarapoto.

Tabla 5. Cantidad de muestras a recolectadas en un mes.

Ciudad	Mercado	Alimento	N° Unidades de muestreo	Repeticiones	Total de unidades
Moyobamba	MM-01	<i>Oryza sativa</i>	1	3	3
		<i>Lactuca sativa</i>	1	3	3
		<i>Mauritia flexuosa</i>	1	3	3
		<i>Capsicum frutescens</i>	1	3	3
Lamas	ML-02	<i>Oryza sativa</i>	1	3	3
		<i>Lactuca sativa</i>	1	3	3
		<i>Mauritia flexuosa</i>	1	3	3
		<i>Capsicum frutescens</i>	1	3	3
Tarapoto	MT-03	<i>Oryza sativa</i>	1	3	3
		<i>Lactuca sativa</i>	1	3	3
		<i>Mauritia flexuosa</i>	1	3	3
		<i>Capsicum frutescens</i>	1	3	3
Juanjuí	MJ-04	<i>Oryza sativa</i>	1	3	3
		<i>Lactuca sativa</i>	1	3	3
		<i>Mauritia flexuosa</i>	1	3	3
		<i>Capsicum frutescens</i>	1	3	3
Tocache	MTO-05	<i>Oryza sativa</i>	1	3	3
		<i>Lactuca sativa</i>	1	3	3
		<i>Mauritia flexuosa</i>	1	3	3
		<i>Capsicum frutescens</i>	1	3	3

12.5. Fase de tratamiento de muestras

12.5.1. Pretratamiento de muestras

Para el análisis de las muestras se utilizó sólo la parte comestible de cada alimento; las cuales fueron lavadas primero con agua potable para quitar el exceso de suciedad (Anexo 10), luego con HCl 0.1 N para la eliminación de impurezas y posteriormente con agua destilada. Después fueron colocadas en un horno a 60 °C entre 48 - 72 horas, hasta que las muestras alcancen un peso constante y estén totalmente deshidratadas. Las muestras secas fueron molidas a mano con mortero hasta obtener una textura fina para luego pasar por un tamiz de 20 mesh y ser almacenado en frascos de polietileno (Ametepey et al., 2018) (Anexo 11 y 12). Todo este proceso fue realizado en el laboratorio del Instituto de Cultivos Tropicales ubicado en el distrito de la Banda de Shilcayo en la provincia de San Martín. Para su análisis, dichas muestras fueron enviadas al laboratorio Swamp de la Universidad de Alberta, Canadá

12.5.2. Determinación de metales pesados

Las muestras se evaluaron en el laboratorio Swamp de la Universidad de Alberta ubicada en Edmonton, Canadá.

a) Digestión en microondas

Para la digestión en microondas las muestras fueron mineralizadas en ácido nítrico de alta pureza (HNO₃ 70%). Los gradientes de temperatura y presión utilizados para la digestión se describen en (Shotyk et al., 2014). Para ello, se pesaron 200 mg de muestra seca y se añadió 3 ml de HNO₃ purificado dos veces mediante destilación sub-hirviendo, en un alambique de cuarzo. Luego, la solución mineralizada fue transferida a tubos limpios de polietileno (Fisherbrand) de 15 ml, aforada a 10 ml (con agua bi-destilada) y finalmente almacenadas a 4 °C hasta ser analizadas. Cabe mencionar que por cada set de muestras

incluyeron tres blancos de reactivos, mediante el límite de detección ($MDL = 3 * STD$); donde: STD = desviación estándar. Además, incluyeron dos materiales de referencia: SRM 1515 “Apple leaves” y SRM 1547 “peach leaves” del National Institute of Standards and Technology, para calcular el rendimiento del método de digestión, y por ende la precisión de este, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$R \% = (\text{concentración medida} / \text{concentración certificada}) * 100$$

Los valores obtenidos se presentan en el anexo 5.

b) Análisis en ICP-MS

Se determinó la concentración de metales pesados en los diferentes alimentos utilizando la técnica de Espectrometría de Masas con Plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), el cual trabaja combinando el plasma acoplado inductivamente, que sirve como fuente de vaporización y ionización de la muestra; y un espectrómetro de masas que detecta los iones de plasma (Thomas, 2013). Las curvas de calibración para cada elemento fueron calculadas con el software Qtegra, y revisadas manualmente como se muestra en los anexos 5, 6 y 7. La solución multielemental utilizada para estos elementos fue Claritas PPT® Grade ICP-MS Multi-Element Solution 2A, diluida a diferentes concentraciones (0.001 a 10 ppb) con HNO_3 2%. Además, para el control analítico y de calidad del instrumento se analizaron dos materiales de referencia: NIST 1640a “elementos traza en aguas superficiales naturales, y el SPS-SW2 “elementos en aguas superficiales”.

Los límites de detección se calcularon mediante lo siguiente:

$$LOD = \frac{(3 * SD \text{ Intensidad del blanco}) \times 1 \text{ ppb Std conc.}}{1 \text{ ppb Std Intensidad} - \text{Intensidad del blanco}}$$

Los límites de cuantificación se calcularon mediante lo siguiente:

$$\text{LOQ} = \frac{(\text{Intensidad del blanco} + 10 \cdot \text{SD Intensidad del blanco}) \times 1 \text{ ppb Std conc.}}{1 \text{ ppb Std Intensidad} - \text{Intensidad del blanco}}$$

Los resultados se muestran en el anexo 5.

Posterior, las concentraciones obtenidas en ppb (ug/L) fueron transformadas a mg kg⁻¹ de muestra de acuerdo con lo siguiente:

$$\frac{\mu\text{g del elemento}}{1000\text{L de ICP-MS solución}} \times \frac{10 \text{ ml ICP-MS solución}}{1 \text{ ml de la solución digestada}} \times \frac{10 \text{ ml de la solución digestada}}{\text{g de muestra}}$$

12.6. Análisis estadístico

Se realizó el análisis estadístico para comparar los resultados de las concentraciones de las muestras de cada área de estudio, se utilizó el Software R Studio, para estimar las medias, la desviación estándar, el mínimo y máximo de las concentraciones de los metales pesados (Cd, Pb y Ni). Asimismo, se desarrolló la prueba de ANOVA para constatar si hay diferencia significativa entre las concentraciones de cada metal y las cinco ciudades por cada alimento. De las evaluaciones que resultaron significativas se propuso investigar qué medias son distintas, para ello se realizó la prueba de Scott Knott.

12.7. Análisis de riesgo

En el análisis del riesgo potencial a la salud asociado con la ingestión a largo plazo de arroz, lechuga, aguaje y ají charapita contaminados con metales pesados se calculó mediante los siguientes cálculos (US EPA, 1992):

12.7.1. Dieta sugerida (g/día)

La dieta sugerida es uno de los pasos más importantes en el cálculo del análisis de riesgo; el cual equivale a la tasa de ingestión (IR). Este fue calculado mediante la encuesta de consumo y está dada en g/día. La encuesta de consumo fue determinada con dos variables centrales que es la cantidad y frecuencia de consumo del arroz, lechuga, ají charapita y aguaje.

La cantidad de consumo en adultos fue respondida en base a gramo (g), kilogramo (kg) y por unidad, para este último se realizó una revisión literaria a fin de saber el peso promedio del alimento, esto para los casos de la lechuga que tiene un peso promedio de entre 1.1 kg a 1.3 kg (ANASAC, 2016) y para el aguaje se vio el peso promedio total (85 g) (SERNANP, 2012) por el porcentaje de masa comestible (9 % por unidad) que da un total de 7.65 g. En cuanto a la cantidad en niños, se dispuso a establecer un supuesto de consumo estimado del 50% en comparación de un adulto, esto de acuerdo con los valores sugeridos por la US EPA (2002). En ambos casos la unidad final y requerida para los pasos posteriores es gramo (g).

La frecuencia de consumo fue mencionada en día, semana y mes. Por ellos los datos fueron convertidos solo a días. En esta parte se debe tener cuidado ya que un inadecuado cálculo puede hacer variar los resultados finales.

12.7.2. Dosis diaria promedio (ADD)

La dosis diaria promedio es la tasa de dosis media durante un periodo de exposición específico de la vía expresada como dosis de peso corporal. Las unidades en las cuales se expresa es $\text{mg kg}^{-1}\text{día}^{-1}$ (US EPA, 1992). El cálculo se realizó para cada alimento y ciudad, en donde se usó la siguiente fórmula:

$$ADD = \frac{Ci * IR * EF * ED}{BW * AT}$$

Ci: Concentración del metal pesado.
 IR: Tasa de ingestión.
 EF: Frecuencia de exposición.
 ED: Duración de la exposición.
 BW: Peso corporal del consumidor
 AT: Tiempo promedio

La tasa de ingestión se colocó según la dieta sugerida por la encuesta de consumo y los datos restantes de acuerdo a lo descrito por Agency for Toxic Substances and Disease Registry, (2005), en donde el IR, ED, BW, y AT fueron diferentes para para adultos y niños (ver Tabla 8).

12.7.3. Cociente de riesgo (HQ)

Para la estimación del riesgo no cancerígeno del consumo de metales pesados se realizó mediante el cociente de riesgo objetivo (Barraza et al., 2018), el cual es la relación de una determinada dosis del contaminante y la dosis de referencia considerada perjudicial. Si la proporción es ≥ 1 , la población expuesta está en riesgo (Ametepey et al., 2018).

$$HQ = \frac{ADD}{RfD}$$

ADD: Dosis diaria promedio.

RfD: Referencia de dosis.

12.7.4. Índice de peligro (HI)

Se aplicó el índice de peligro (HI) para estimar el riesgo potencial a la salud humana al ingerir más de un metal. Según lo indicado por (Lim et al., 2008) un HI/HQ > 1 significa riesgo inaceptable de efectos no cancerígenos en la salud y un HI/HQ < 1 significa riesgo aceptable para la salud de las personas.

$$Ingesta\ diaria\ estimada\ (EDI) = \left(\frac{1}{Bw}\right) * Ci * Mvegetable$$

$$HI = (THQi + THQii + THQiii + \dots THQn) \sum THQ$$

XIII. RESULTADOS

13.1. Concentración de metales pesados (Cd, Pb y Ni).

Tras el análisis de las muestras se obtuvieron las concentraciones de los metales pesados Cd, Pb y Ni en el arroz, lechuga, ají charapita y aguaje, consumidos en las ciudades de Tocache, Juanjuí, Tarapoto, Lamas y Moyobamba ubicados en la región San Martín (tabla 6).

En Cd, el valor máximo permitido para alimentos es 0.025 mg kg^{-1} (WHO, 2011). Las ciudades de Tocache y Moyobamba superan este límite en todos los alimentos, siendo más crítico en el aguaje (0.34 mg kg^{-1}) para Tocache, en la lechuga (0.17 mg kg^{-1}) para Moyobamba. Además, en la ciudad de Juanjuí; la lechuga, ají charapita y aguaje están por encima del límite permitido. No obstante, el arroz se encuentra dentro del rango permisible con 0.007 mg kg^{-1} . Lamas en cambio, muestra que los alimentos que sobrepasan los límites permisibles son la lechuga y ají charapita. En Tarapoto los alimentos que superan el límite son el arroz, lechuga y el ají charapita.

En cuanto a los resultados del Pb se observa que en su mayoría de las concentraciones se encuentran por encima del valor máximo permitido para alimentos que es 0.003 mg kg^{-1} (WHO, 2011); en donde los valores más altos se encuentran en la lechuga (5.874 mg kg^{-1}) de Juanjuí, en el ají charapita (4.99 mg kg^{-1}) de Lamas y el aguaje (2.229 mg kg^{-1}) de Tocache. No obstante, la concentración obtenida en el arroz de la ciudad de Moyobamba de encuentra en el límite tolerable de ingesta.

Todos los alimentos, superan el valor propuesto por la WHO (2008) para el Ni en alimentos de 0.012 mg kg^{-1} . La concentración más alta de Ni para el arroz se encuentra en Tarapoto (0.187 mg kg^{-1}), para la lechuga en las ciudades de Tocache (6.630 mg kg^{-1}), Lamas (6.633

mg kg⁻¹) y Moyobamba (6.459 mg kg⁻¹), para el ají charapita en Moyobamba (1.111 mg kg⁻¹) y en el aguaje se observa en la ciudad de Juanjuí (0.587 mg kg⁻¹).

Tabla 6. Concentración de metales pesados en las verduras seleccionadas en comparación con la concentración del límite tolerable de ingesta de metales pesados en alimentos de la WHO, (2011) y su significancia (p<0.05).

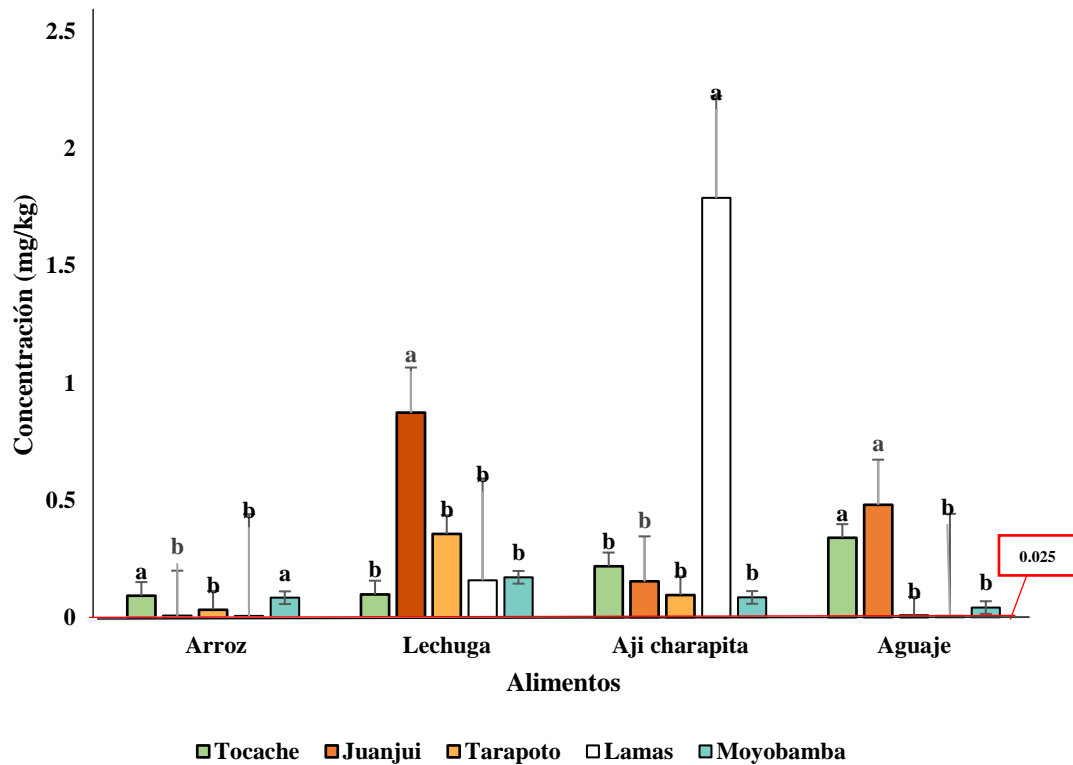
Metales pesados (mg kg ⁻¹)	Ciudad	Arroz	Lechuga	Ají charapita	Aguaje	World Health Organization (WHO)
Cd	Tocache	0.092±0.044	0.098±0.048	0.218±0.142	0.339±0.258	0.025
	Juanjuí	0.007±0.003	0.874±0.511	0.153±0.085	0.481±0.249	
	Tarapoto	0.033±0.014	0.356±0.298	0.095±0.046	0.007±0.004	
	Lamas	0.006±0.002	0.158±0.088	1.79±0.778	0.007±0.003	
	Moyobamba	0.084±0.04	0.171±0.099	0.085±0.039	0.042±0.018	
<i>P value (entre ciudades)</i>		*	*	*	*	
Pb	Tocache	0.005±0.002	0.166±0.095	0.036±0.026	2.229±1.406	0.003
	Juanjuí	0.004±0.002	5.874±2.892	0.07±0.032	2.325±0.362	
	Tarapoto	0.033±0.014	0.074±0.034	0.036±0.016	0.007±0.004	
	Lamas	0.006±0.002	0.234±0.161	4.99±2.597	0.011±0.005	
	Moyobamba	0.003±0.001	0.12±0.061	0.033±0.015	0.004±0.002	
<i>P value (entre ciudades)</i>		*	*	*	*	
Ni	Tocache	0.079±0.037	6.63±4.568	0.742±0.339	0.265±0.041	0.012
	Juanjuí	0.074±0.034	1.359±0.549	0.703±0.413	0.587±0.15	
	Tarapoto	0.187±0.113	0.533±0.362	1.163±0.55	0.378±0.403	
	Lamas	0.046±0.02	6.633±4.571	0.476±0.343	0.298±0.238	
	Moyobamba	0.083±0.039	6.459±0.39	1.111±0.337	0.306±0.235	
<i>P value (entre ciudades)</i>		Ns	*	Ns	Ns	

*= 0.05 significancia, ns= no significativo

Fuente: Elaboración propia.

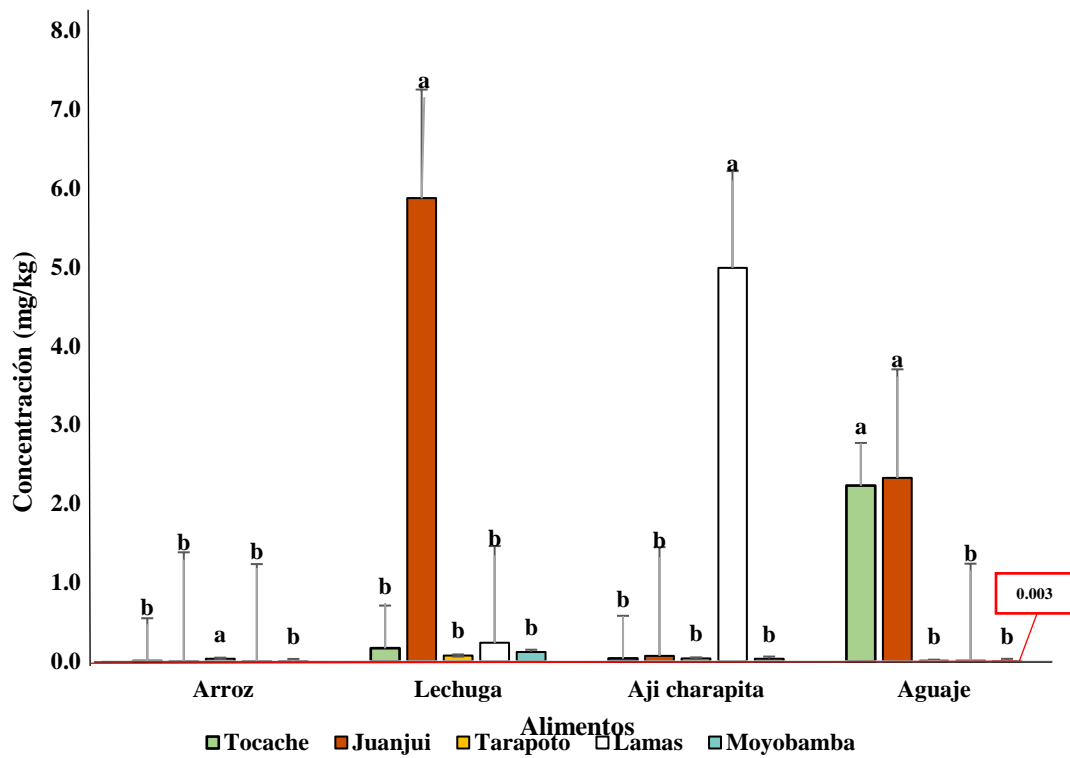
Las concentraciones promedio de Cd en los alimentos estudiados son presentados en la figura 2. Para el arroz los valores más altos se presentan en las ciudades de Tocache (0.092 mg kg⁻¹) y Moyobamba (0.083 mg kg⁻¹). De igual forma se observa que la concentración más alta obtenida en la lechuga es en Juanjuí (0.873 mg kg⁻¹). En cuanto al ají charapita, la ciudad de Lamas (1.790 mg kg⁻¹) es la que representa el valor más alto superando incluso a los demás alimentos. Finalmente, el aguaje muestra las mayores concentraciones en las ciudades de Tocache (0.339 mg kg⁻¹) y Juanjuí (0.480 mg kg⁻¹).

Figura 2. Concentración de Cd en las verduras seleccionadas en comparación con la concentración límite tolerable de ingesta de metales pesados en alimentos de la WHO (2011).



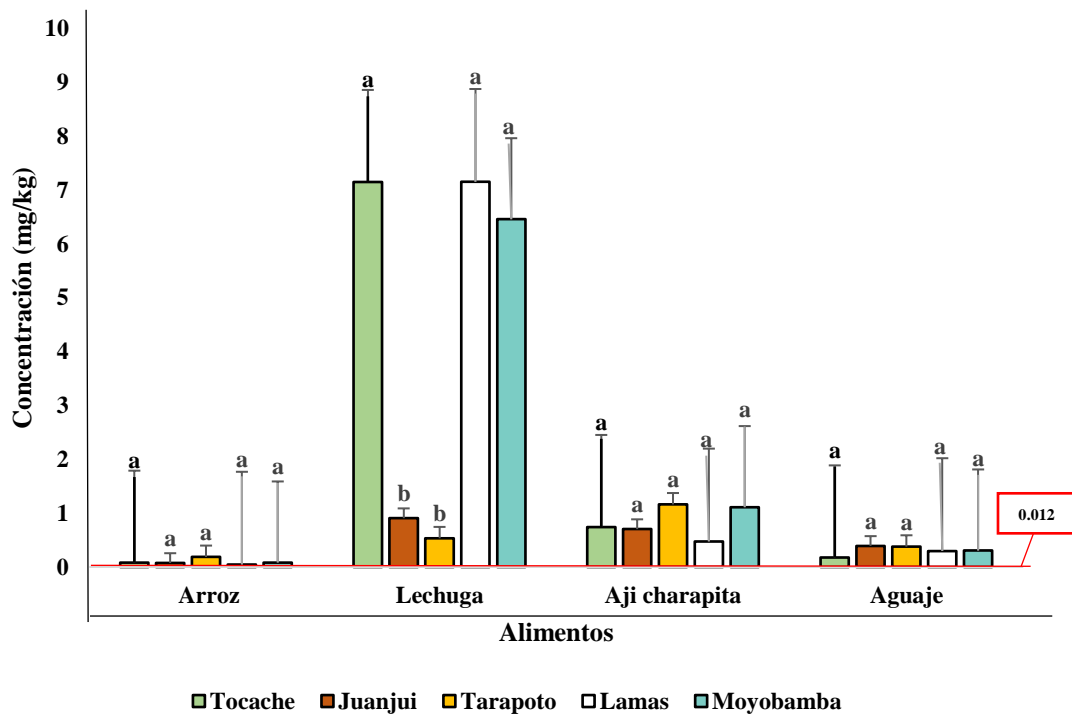
Los resultados de concentración de Pb en los alimentos evaluados son presentados en la figura 3. La ciudad que presenta mayor concentración de Pb en el arroz es Tarapoto. De igual modo las concentraciones de la lechuga y el ají charapita en las ciudades de Juanjuí y Lamas respectivamente difieren en su media respecto a las demás. Por otro lado, el aguaje presenta mayores valores en las ciudades de Tocache y Juanjuí.

Figura 3. Concentración de Pb en las verduras seleccionadas en comparación con la concentración límite tolerable de ingesta de metales pesados en alimentos de la WHO (2011).



Por otra parte, en la figura 4 se observa que la lechuga es el único alimento que presenta variación en sus medias teniendo altas concentraciones de Ni en las ciudades de Tocache, Lamas y Moyobamba.

Figura 4. Concentración de Ni en las verduras seleccionadas en comparación con la concentración límite tolerable de ingesta de metales pesados en alimentos de la WHO (2008).



Con los resultados presentados en la tabla 6 se procedió con el estudio estadístico en donde se realizó el análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existe diferencia significativa entre las concentraciones de cada metal por alimento en las ciudades de Tocache, Juanjuí, Tarapoto, Lamas y Moyobamba. Existe significancia cuando la probabilidad de error es inferior al 5% ($p < 0.05$).

El análisis de varianza (ANOVA) para Cd muestra que existe diferencia significativa entre las concentraciones de las cinco ciudades evaluadas. Es decir, que al menos una de las medias es diferente al resto. Este resultado aplica para todos los alimentos teniendo en cuenta que los valores de probabilidad (p) fueron menores que 0.05. Del mismo modo, se observa que en el arroz ($p = 0.001$), lechuga ($p = 0.001$), ají charapita ($p = 0.001$) y aguaje ($p = 0.001$), existe diferencia significativa, dado que para cada alimento al menos una de sus medias de concentración de Pb difiere de una ciudad a otra. A diferencia de los resultados anteriores, las medias de las concentraciones para Ni en el arroz ($p = 0.105$), ají charapita

($p=0.262$) y aguaje ($p=0.739$) son iguales, eso muestra que no hay significancia estadística, con excepción de la lechuga, donde se observaron diferencias significativas ($p<0.05$) (tabla 4).

13.2. Análisis de Riesgo

Para el cálculo de los índices de riesgo fue necesario definir la dieta en cuanto a cantidad y frecuencia de consumo de los alimentos a evaluar en los pobladores de Tocache, Juanjuí, Tarapoto, Moyobamba y Lamas (ver tabla 7).

Tabla 7. Dieta sugerida en las ciudades de Tocache, Juanjuí, Tarapoto, Lamas y Moyobamba.

Dieta sugerida (g/día)		
Alimento	Adultos	Niños
Arroz	118.72	59.36
Aguaje	4.5	2.25
Ají charapita	5	2.5
Lechuga (local)	19.89	9.945
Total	148.11	74.055

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, se definieron los parámetros requeridos para el cálculo de la dosis diaria promedio (ADD); estos son frecuencia a la exposición (EF) duración de la exposición (ED), peso de la persona (BW), tiempo promedio (AT), tiempo de vida (LT) y tasa de ingestión (IR).

Tabla 8. Parámetros para el cálculo de los índices de riesgo.

Parámetros	Adulto	Niños
IR (g/día) ^{a)}	148.11	74.055
EF (días/año) ^{b)}	365	365
ED (años) ^{b)}	30	6
BW (kg) ^{b)}	70	16
AT (días) ^{b)}	10950	2190
LT ^{b)}	70	70
LT (días) ^{b)}	25550	25550

Fuente: a) Encuesta y b) Agency for Toxic Substances and Disease Registry, (2005).

13.2.1. Cociente de riesgo (HQ) por alimento

Los valores obtenidos en el cociente de riesgo (HQ) para cada alimento muestran que en adultos solo existe riesgo al Pb a través de la ingesta de lechuga en la ciudad de Juanjuí. De igual forma se observa que los niños de la ciudad de Tocache tienen riesgo a tener enfermedades relacionadas a la ingesta de arroz contaminado con Cd. Caso similar para la ciudad de Juanjuí, ya que los valores para Cd y Pb son mayores al límite que es 1.

Tabla 9. Cociente de riesgo (HQ) por alimento en adultos y niños.

	Arroz			Lechuga			Ají charapita			Aguaje		
	Cd	Pb	Ni	Cd	Pb	Ni	Cd	Pb	Ni	Cd	Pb	Ni
Adultos												
Tocache	0.468	0.008	0.020	0.083	0.040	0.305	0.047	0.002	0.008	0.065	0.123	0.002
Juanjuí	0.034	0.007	0.019	0.745	1.431	0.039	0.033	0.004	0.008	0.093	0.128	0.004
Tarapoto	0.167	0.048	0.047	0.304	0.018	0.023	0.020	0.002	0.012	0.001	0.000	0.004
Lamas	0.028	0.008	0.012	0.135	0.057	0.305	0.384	0.306	0.005	0.001	0.001	0.003
Moyobamba	0.426	0.004	0.021	0.146	0.029	0.275	0.018	0.002	0.012	0.008	0.000	0.003
<i>P value (entre ciudades)</i>	ns	*	ns	*	*	*	*	*	ns	*	*	Ns
Niños												
Tocache	1.024	0.017	0.044	0.183	0.088	0.667	0.102	0.005	0.017	0.065	0.123	0.002
Juanjuí	0.074	0.014	0.041	1.629	3.129	0.084	0.072	0.009	0.016	0.203	0.280	0.008
Tarapoto	0.366	0.105	0.104	0.664	0.039	0.050	0.044	0.005	0.027	0.003	0.001	0.008
Lamas	0.062	0.018	0.025	0.295	0.125	0.667	0.839	0.668	0.011	0.003	0.001	0.006
Moyobamba	0.932	0.010	0.046	0.319	0.064	0.602	0.040	0.004	0.026	0.018	0.001	0.006
<i>P value (entre ciudades)</i>	*	*	ns	*	*	*	*	*	ns	*	*	Ns

*= 0.05 significancia, ns= no significativo

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a los datos estadísticos del riesgo asociado a la ingesta de metales pesados, no se observan diferencias significativas entre ciudades en los siguientes: Cd en el arroz y Ni en el arroz, ají charapita y aguaje en adultos y Ni en el arroz, ají charapita y aguaje en niños.

13.2.2. Cociente de riesgo total

En los resultados para el cociente de riesgo (HQ) para todos los alimentos de acuerdo con el concepto mencionado se obtuvo que en ninguna de las ciudades existe un riesgo a la salud por la concentración de metales pesados. Dado que los valores individuales para Cd, Pb y Ni no sobrepasan el valor límite que es 1. Este se da tanto en la evaluación de adultos como niños. Cabe resaltar que la evaluación en niños se dio en un rango de edad de 06-11 años, de acuerdo con el supuesto propuesto; ingestión del 50% de la cantidad estimada por adulto.

Tabla 10. Cociente de riesgo (HQ) total en adultos y niños.

	Cd	Pb	Ni
Adultos			
Tocache	0.221	0.057	0.104
Juanjuí	0.301	0.523	0.029
Tarapoto	0.164	0.022	0.028
Lamas	0.182	0.123	0.100
Moyobamba	0.199	0.011	0.103
Niños			
Tocache	0.437	0.039	0.226
Juanjuí	0.659	0.003	0.065
Tarapoto	0.359	0.049	0.062
Lamas	0.399	0.270	0.220
Moyobamba	0.342	0.009	0.073

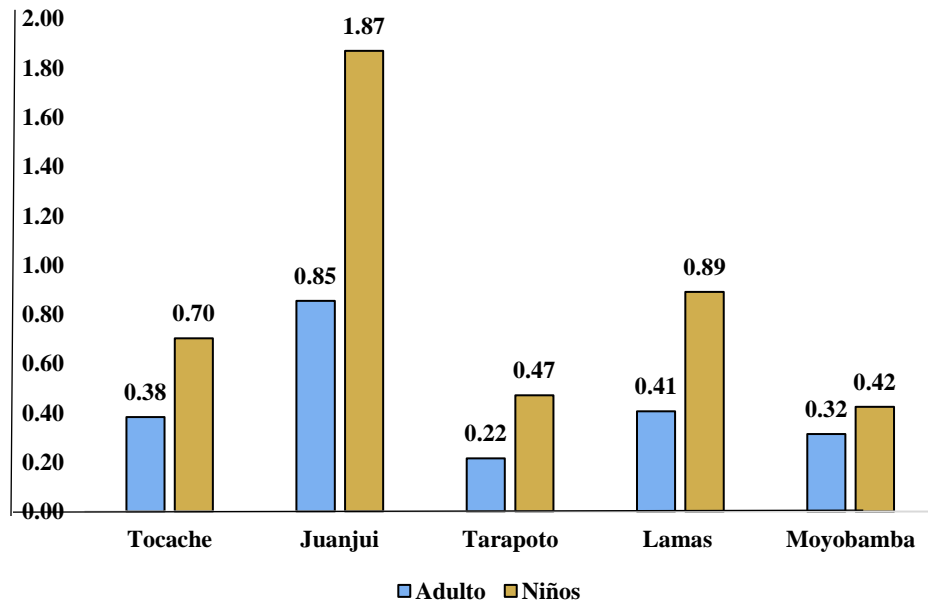
Fuente: Elaboración propia.

La secuencia decreciente de HQ siguió el orden de Cd>Pb>Ni para adultos y niños. No obstante, la HQ en niños fue más altas que en la de los adultos.

13.2.3. Índice de peligro (HI)

En cuanto a la evaluación del índice de peligro (HI), los resultados mostraron que los niños obtuvieron valores más altos a comparación de los adultos.

Figura 5. Índice de peligro (HI) en adultos (18-65 años) y niños (06-11 años) por ingesta de alimento con concentraciones de metales pesados en las ciudades Tocache, Juanjuí, Tarapoto, Lamas y Moyobamba.



En tal sentido, se observa que los niños que habitan en la ciudad de Juanjuí son los más expuestos a desarrollar síntomas relacionados a la exposición a metales pesados, dado que el índice de peligro supera el valor máximo igual a 1, siendo este 1.87. A diferencia de los adultos quienes no presentan riesgo ya que el valor resultante es de 0.85. En tanto se refleja diferencia entre ambos grupos de habitantes, donde los niños son los más expuestos al peligro.

XIV. DISCUSIÓN

En los resultados se observó que en su mayoría las concentraciones obtenidas en el arroz (*Oryza sativa*), lechuga (*Lactuca sativa*), aguaje (*Mauritia flexuosa*) y ají charapita (*Capsicum frutescens*) se encuentran por encima de los límites permitidos para Cd y Pb según WHO, (2011) y Ni según WHO, (2008), en donde se evalúa el límite tolerable de ingesta de un elemento en cualquier alimento. No obstante, a nivel internacional también existen otros organismos que describen la cantidad límite de concentración de un elemento en diferentes grupos de alimentos, estos son la Unión Europea, (2006) y el Codex Stan 193-1995, (2009) (Anexo 3). Si comparamos los resultados con la Unión Europea (UE), se muestra que la lechuga sobrepasa las concentraciones de Pb en las ciudades de Tocache (0.166 mg/kg), Lamas (0.234 mg/kg) y Moyobamba (0.119 mg/kg) y en el aguaje en las ciudades de Tocache (2.228 mg/kg) y Juanjuí (2.325 mg/kg). Un caso similar se observa en el ají charapita consumido en las ciudades de Tocache (0.21mg/kg), Juanjuí (0.153 mg/kg), Tarapoto (0.094 mg/kg), Lamas (1.790 mg/kg) y Moyobamba (0.084 mg/kg) que superan el valor estándar para Cd. Por otro lado, en ninguna de las ciudades el arroz consumido supera la concentración máxima permitida dispuestos en el Reglamento CE n° 1881/2006 que es 0.20 mg/kg para Cd y Pb. Igualmente, relacionando con los niveles máximos dados en el Codex Stan 193-1995, (2009), se manifiesta que las concentraciones de Pb en la lechuga y el ají charapita consumidos en Juanjuí (5.873 mg/kg y 0.069 mg/kg respectivamente), así como también el ají charapita en Lamas (4.990 mg/kg), superan el nivel máximo permitido. No obstante, para Cd se obtiene que el ají charapita lo supera en las ciudades de Tocache (0.21mg/kg), Juanjuí (0.153 mg/kg), Tarapoto (0.094 mg/kg), Lamas (1.790 mg/kg) y Moyobamba (0.084 mg/kg).

Al pasar los años se realizan investigaciones relacionadas a la contaminación de alimentos por metales pesados debido a su toxicidad. Tal es el caso del arroz (*Oryza sativa*), que ha sido identificado como fuente potencial de exposición (Naseri et al., 2015). Méndez et al., (2007) mostró que el arroz distribuido en Bogotá contiene concentraciones elevadas de Cd. Asimismo, Naseri et al., (2015) reportó niveles de Ni en arroz similares a los encontrados en la presente y valores altos en Pb de entre 0.71 a 1.28 µg/g. El Pb es un elemento muy tóxico y su exposición crónica inclusive en niveles bajos está asociada a diversos efectos para la salud (Batisa et al., 2012). Marschner, (2002) afirma que la lechuga es una planta capaz de absorber cantidades significativas de Pb en suelos altamente contaminados. En el estudio realizado por (Carrillo, 2016), obtuvo que las muestras de lechuga obtenidas en 30 mercados de Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) tuvo un valor promedio de 0.021 mg/kg de Pb, siendo este inferior a los resultados del presente estudio. No obstante, otra evaluación realizada reporta valores similares, por ejemplo; Velásquez, (2017) muestra valores de 0.273 mg/kg de Pb en lechuga. Velásquez, (2017), quien también analizó Cd en la lechuga donde su valor está muy por debajo de las concentraciones estipuladas por la WHO, (2007).

En secciones anteriores se hace énfasis que una de las limitaciones del presente proyecto es la falta de información respecto a la concentración de metales pesados en ají charapita (*Capsicum frutescens*) y aguaje (*Mauritia flexuosa*), dado que estos son alimentos nativos de la Amazonía. Sin embargo, se propuso comparar y discutir con estudios similares teniendo en cuenta el género del alimento o los factores externos. En ese sentido, de los resultados obtenidos en el ají charapita (*Capsicum frutescens*) se observa que son idénticos a los valores de Pb y Cd expuestos en el estudio realizado por Limmatvapirat et al., (2011), en donde evaluó 30 muestras de ají dulce (*Capsicum annuum*) en 9 provincias de Tailandia. No obstante, Zejnullahu et al., (2017) determinó concentraciones de Ni (0.0005 mg/kg) en

ají dulce (*Capsicum annuum*) muy por debajo de los niveles encontrados en el presente estudio. Cabe mencionar que los niveles elevados de Cd, Pb y Ni en el ají charapita (*Capsicum frutescens*) puede deberse a que las plantas tienen la capacidad de acumular metales pesados sus diferentes partes (hoja, tallo y fruto) (Kabata-Pendias, 2000). Así se demuestra en una evaluación realizada por Castro, (2013) donde visualizó que el ají dulce (*Capsicum annuum*) tiene una alta capacidad de absorber metales como Cd, Pb, Cu y Zn, no obstante, para Ni obtuvo concentraciones bajas. En estudios relacionados al aguaje, Pereira et al., (2012) hizo un análisis de metales presentes en el aguaje (*Mauritia Flexuosa*) en la ciudad de Manaus, Brasil, quien mostró bajas concentraciones de Cd y superiores en Pb a comparación con los resultados presentes. No obstante, enfatiza que las mayores concentraciones se encuentran en las hojas de la palmera. Asu vez, se encontraron bajas concentraciones de Pb y Ni en un estudio realizado en las hojas del aguaje (*Mauritia Flexuosa*) (Egbujuo et al., 2018) en comparación de los actuales resultados.

Es de importancia mencionar que hay factores importantes para la concentración de metales pesados en alimentos, estos se dan por condiciones naturales del suelo donde es cultivado, el agua con los que son regados y/o aditivos aplicados, tal como lo expone Riveros, (2014) quien estudió la relación de las concentraciones de metales pesados entre el suelo, agua de riego y alimentos cultivados en el valle Higuera, Huánuco. No obstante, el valor nutricional de los alimentos y el impacto en su consumo no solo depende de la calidad de los suelos, sino también, en la capacidad de bioacumulación de éstos y la distribución de los metales pesados en diferentes partes de la planta (Pajević et al, 2016). Del mismo modo, Soto-Benavente. M. et al., (2020) evaluaron las concentraciones de Cd y Pb en suelos y partes del plátano y la yuca (raíz, tallo, hoja y fruto), encontrando que pese a que las concentraciones del suelo están por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental (Anexo 3), obtuvo valores altos en la yuca, pero bajos en el plátano, además de concentraciones

más altas en tallos y hojas que en los frutos. Barceló et al., (2003) indica que la absorción de metales pesados de los suelos y su acumulación varía entre especies y órganos vegetales. En cuanto a las concentraciones elevadas obtenidas en el presente estudio puede también relacionarse a su cantidad de biomasa, Kabata-Pendias & Mukherjee, (2007) mencionan que las especies hiper acumuladores de metales tienden a tener una biomasa reducida, esto debido a utilizan mayores recursos en los mecanismos de adaptación por las elevadas concentraciones de metales pesados en sus tejidos.

De acuerdo con lo descrito en ítems anteriores para poder llevar a cabo la evaluación del riesgo a la salud se observaron ciertos inconvenientes que es preciso mencionar. Por ejemplo, debido a la situación actual de la pandemia generada por el Covid-19 hubo un retraso en la realización de la compra de los insumos, en ocasiones no se encontraban los alimentos o no eran los más aptos para considerarlos como muestra, como es el caso del aguaje y la lechuga. Además, durante el secado de las muestras se vio que no todas requerían estar el mismo tiempo en la estufa (el ají charapita y la lechuga tardan más tiempo en deshidratarse) por lo que las primeras muestras se tostaron más de lo requerido, teniendo que realizar nuevamente el proceso. En cuanto a la realización de la encuesta hubo respuestas no validas; que no guardaban relación con la pregunta o no fueron contestadas por los participantes. Dichas respuestas no fueron evaluadas, por lo que se extendió el número de encuestados hasta llegar a lo requerido. Mencionar que la representatividad del presente trabajo hubiese sido mayor al obtener más número de encuestados. Sin embargo, dado que se trata de una investigación de pregrado y recursos limitados se mantuvo lo presentado en capítulos anteriores. En cuanto a la determinación de la dieta sugerida para adultos, se realizó en base a los resultados obtenidos en la encuesta de consumo. Es importante evaluar y ordenar adecuadamente los datos, ya que estos suelen ser muy variados en cuanto a la cantidad y frecuencia, estos deben ser llevados a una sola unidad.

Un ejemplo de ello es el consumo de aguaje que se da de 2 a 4 veces al mes o en su mayoría en temporada de producción; entre agosto y diciembre (SERNANP, 2012) en una cantidad de entre cuatro unidades hasta un kilo. Del mismo modo, en la revisión de la encuesta en cuanto al consumo del arroz, lechuga, ají charapita y aguaje en niños, se observó que no fueron correctamente llenadas, es por ello que se optó por realizar un supuesto de consumo de alimentos de acuerdo a la edad establecida en el presente proyecto y ajustando a lo mencionado por la US EPA, (2002). Por su parte, Nidirect UK, (2021) menciona que los niños consumen la mitad de la porción de un adulto. Es preciso mencionar que pese a ajustar la dieta para niños conforme a lo mencionado líneas arriba, se observó que la cantidad ingerida del ají charapita es elevada, es por ello que es oportuno realizar un estudio del consumo de este y otros alimentos considerados amazónicos, ya que la escasa información de estos cultivos no ayudan a comprender mejor la forma de consumo. Aludir también que la búsqueda de los parámetros requeridos para calcular el riesgo a la ingesta de metales pesados fue minuciosa ya que los valores que se encuentran muchas veces no son actualizados, como es el caso del Pb que actualmente la US EPA no cuenta con un valor de dosis de referencia de exposición ya que encuentra en proceso de evaluación (US EPA, 2021). Por ese motivo se ha tomado de referencia valores publicados por otros autores.

Es considerable mencionar que para reducir el riesgo a la salud a través de la ingesta de alimentos contaminados se debe tener en cuenta el Sistema Alimentario Sostenible, en donde se engloba a todas las actividades acorde a la producción, elaboración, distribución y el consumo de los alimentos. Así como también a los actores: el medio ambiente, la población, recursos, procesos, instituciones, entre otros (FAO, 2021). Este debe iniciar por evaluar la forma de producción de los alimentos en campo, promoviendo la diversificación de los cultivos y manteniendo la salud de los suelos y ríos. Además de las buenas prácticas

de post cosecha, como el adecuado almacenamiento, transporte y distribución de los alimentos; y dentro de este último el procesamiento y comercialización (OPS, 2021) . Es por ello, que es vital conectar todos los procesos con el fin de generar recursos alimenticios que garanticen la seguridad alimentaria sin afectar la bases económicas, sociales y ambientales.

Los parámetros y condiciones establecidas para el cálculo del índice de riesgo, se establecen de acuerdo a la población a evaluar y su ruta de exposición, ya sea a través de la ingesta de agua, suelo, inhalación y/o contacto dermal (ATSDR, 2005). Barraza et al. (2018) en su estudio realizado en Ecuador, indica que el mayor índice de riesgo (51.8%) se da a través del consumo de alimentos. Estos al tener cantidades significativas de metales pesados, podrían ser causa de daño a la salud humana (Ametepey et al., 2018). Para ello es preciso seleccionar los datos adecuados acorde a la población dirigida. Por ejemplo, los resultados obtenidos para la dosis diaria promedio (ADD) de consumo del presente proyecto se hizo de acuerdo a los datos obtenidos de los alimentos evaluados, encuesta y Agency for Toxic Substances and Disease Registry, (2005), para este último se consideraron los parámetros en relación a la población estudiada, como el peso promedio en adultos (70 kg) y de niños (16 kg). La duración de la exposición (ED) depende mucho del criterio del evaluador, en este caso se designó para adultos 30 años ya que es el tiempo límite superior nacional de residencia, dado que las personas suelen migrar alrededor del Perú (INEI, 2020), y niños 6 años que va acorde al rango de edad. Por todo ello, es sumamente importante conocer los detalles multifactoriales de la población a evaluar. Es preciso expresar también el impacto que pueden tener las variables mencionadas en los resultados finales. Por ejemplo, la tasa de ingestión (IR) es un parámetro muy importante ya que va definir la cantidad promedio consumida por día de un cierto alimento, el cual depende de los hábitos alimenticios de una persona. Para el caso de ingesta de agua este

parámetro ya se encuentra definido (2 L/día – adulto y 1 L/día – niños) (ATSDR, 2005). No obstante, la ingesta de alimentos se define de acuerdo a bases de datos preexistentes o realizadas de acuerdo a una encuesta de consumo como fue desarrollado en la presente investigación. Luego está la concentración del metal (Ci), que varía de acuerdo al tipo de cultivo y depende de diversos factores como su capacidad de acumular metales, el suelo donde es cultivado y el agua con los que son regados (Barraza. F., 2021). La frecuencia de exposición (EF), que en muchos casos como en los descritos en esta investigación representan una exposición diaria al contaminante para una duración de la exposición (ED) de 30 años (ATSDR, 2005). Sin embargo, existen exposiciones que ocurren de forma intermite ya que una persona no tiene la misma dieta durante toda su vida o no siempre reside en el mismo lugar. Hay otros casos donde la exposición es de por vida y se considera una ED de 70 años, pero este se encuentra asociado a evaluaciones de efectos cancerígenos (US EPA, 2011). Es por ello por lo que sería pertinente evaluar las concentraciones de los metales pesados presentados con una duración de exposición de por vida, puede ser que con dichos datos los resultados de cociente de riesgo (HQ) e índice de riesgo (HI) aumenten, teniendo así un riesgo no aceptable.

En concordancia a los resultados de cociente de riesgo (HQ) total se mostró que los valores son menores que 1 en adultos y niños. En tanto, no se sugiere preocupación en la relación del consumo continuo de estos alimentos y el potencial riesgo a la salud de los pobladores de la región San Martín y se infiere un nivel aceptable de riesgo. De ser el caso que los resultados sean mayores que 1, debe exigir inquietud por la salud de las personas (Huang et al., 2007). Los cocientes de riesgos (HQ) presentados en la tabla 10 muestran valores superiores para Cd y Ni, pero inferiores para Pb en comparación a la evaluación realizada por Guerra et al., (2012), en donde también demostró tener un nivel aceptable de riesgo incluso con valores elevados en las concentraciones de sus metales evaluados. Del mismo

modo, en la tabla 9 se exhibe que los adultos de la ciudad de Juanjuí están expuestos al Pb a través de la ingesta de lechuga, y los niños expuestos a Cd y Pb por consumo de arroz y lechuga en Tocache y Juanjuí. En cuanto al índice de peligro (HI) fue más preocupante en niños que en adultos, en especial en la ciudad de Juanjuí, donde se encuentran ingiriendo alimentos contaminados con metales pesados. De lo evaluado se observa que, puede no existir un aparente riesgo por ingesta individual de cada metal pese a los resultados de las concentraciones de los metales pesados sobre pasan los estándares nacionales e internacionales, esto puede deberse a que la cantidad y frecuencia consumida no genera un impacto negativo. Además de ello, hay que recordar que se han considerado solo cuatro alimentos, siendo el ají charapita y agujajes consumidos de manera esporádica. Por otra parte, si a esto le sumamos el consumo de alimentos más frecuentes de la dieta diaria de las personas, diferentes fuentes de exposición, el sistema alimentario e incluso los materiales en los que estos son cocinados, puede que el riesgo potencial se multiplique.

Finalmente, la presente investigación dio a conocer el posible riesgo que genera consumir alimentos contaminados con metales pesados, el cual dio un enfoque para tomar mayor conciencia con el cuidado del medio ambiente. De esta manera también, se abre un campo de análisis para evaluar los estándares ambientales de suelo y agua en relación con los alimentos cultivados.

XV. CONCLUSIONES

Los resultados expresan que la mayoría de las concentraciones de Cd, Pb y Ni en los alimentos evaluados sobrepasan los estándares permitidos estipulados por la WHO, (2007), Unión Europea, (2006) y el Codex Stan 193-1995, (2009). En donde el alimento consumido con mayor concentración de metales pesados es la lechuga, seguido por el ají charapita, el aguaje y el arroz. El consumo de lechuga mostró un riesgo asociado a Pb en adultos y en niños a Cd y Pb. El resultado tuvo relación a lo afirmado por Marschner, (2002), que la lechuga es una planta capaz de absorber cantidades significativas de metales en suelos altamente contaminados.

Se obtuvo también que las concentraciones de Ni sobrepasan el límite tolerable de ingesta de la Organización Mundial de la Salud en los cuatro alimentos, arroz (*Oryza sativa*), lechuga (*Lactuca sativa*), aguaje (*Mauritia flexuosa*) y ají charapita (*Capsicum frutescens*) consumidos en todas las ciudades evaluadas. Pese a ello, no se observó riesgo por su consumo.

El presente estudio destacó que pese a tener altos niveles de metales pesados en arroz (*Oryza sativa*), lechuga (*Lactuca sativa*), aguaje (*Mauritia flexuosa*) y ají charapita (*Capsicum frutescens*) pueden no inducir a un riesgo potencial a la salud en la región San Martín. Sin embargo, al diferenciar el índice de peligro entre adultos y niños, se vio que este último es el más expuesto por el consumo total de estos alimentos, en especial en la ciudad de Juanjuí. Es de importancia resaltar que el estudio de riesgo por ingesta de contaminantes es interpretado en base a la probabilidad de exposición, por eso se debe tener en consideración el consumo de otros alimentos básicos en la dieta de los pobladores que pueden estar contaminados con metales pesados, además, de las diferentes fuentes de exposición.

XVI. RECOMENDACIONES

- Para el desarrollo de la experimentación se debe tener en cuenta diversos factores, por ejemplo:

Las muestras de alimentos deben estar frescas y estas tienen que ser limpiadas adecuadamente, porque puede alterar los resultados.

Se debe secar las muestras en su totalidad, ya que, si no la molienda no será exitosa.

Guardar las muestras molidas en un lugar a temperatura ambiente, evitando la humedad.

- Es de importancia realizar un consentimiento informado del proyecto para dar conocimiento a la población sobre el estudio a realizar y de esta manera brinden la información correcta.
- En el proceso de la encuesta, es vital aumentar el porcentaje de encuestados ya que, es posible que se omitan participantes por ausencia de respuestas.
- Es recomendable tener un mayor tamaño de muestra, de esta manera los resultados obtenidos pueden ser más confiables.
- Para la estimación de la dieta de consumo se debe revisar minuciosamente los resultados de la encuesta, ya que de ello depende el resultado de los índices de riesgos.
- Se sugiere realizar una encuesta de consumo detallada para los alimentos amazónicos como el ají charapita y el aguaje. En especial para la ingesta de los mismos en niños.
- Para el análisis de riesgo, evaluar adecuadamente los parámetros establecidos como el peso, el tiempo de exposición y frecuencia de exposición de acuerdo con la población estudiada. Ello influye en los resultados finales.

- Se sugiere realizar estudios del ciclo de vida de los metales pesados en los alimentos; donde se evalué el tipo de suelo donde son cultivados, el agua con los que son regados, su transporte y los materiales con los que son preparados para su consumo final.

XVII. REFERENCIAS

- Alloway, B. (2010). Heavy metals in soils. Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability. (3rd ed), 22, 283. ISBN 978-94-007-4469-1.
- Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades (ATSDR). (2005). *Resumen de Salud Pública Niquel* (División de Toxicología y Medicina Ambiental). https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs15.pdf
- Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades (ATSDR). (2007). *Resumen de Salud Pública Plomo* (División de Toxicología y Medicina Ambiental). https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs13.pdf
- Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades, (ATSDR). (2008). *Evaluación toxicológica*.
https://www.atsdr.cdc.gov/es/training/pha_professional2/module3/sv6.html
- Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades, (ATSDR). (2016). *ToxFaqs—Plomo (Lead)*. https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts13.html
- Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades (ATSDR). (2021). *Resúmenes de salud pública—Cadmio*.
https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs5.html
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2005). *Appendix G: Calculating Exposure Doses*. ATDSR. <https://www.atsdr.cdc.gov/hac/phamanual/appg.html>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2012). *Public health statement—Cadmium* (Division of Toxicology and Human Health Sciences).
<https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp5-c1-b.pdf>
- Ametepey, S., Cobbina, S., Akpabey, F. J., Duwiejuah, A., & Abuntori, Z. N. (2018). Health risk assessment and heavy metal contamination levels in vegetables from

- Tamale Metropolis, Ghana. *International Journal of Food Contamination*, 5(1), 5.
<https://doi.org/10.1186/s40550-018-0067-0>
- Arévalo-Gardini, E., Arévalo-Hernández, C., Baligar, V., & He, Z. L. (2017). Heavy metal accumulation in leaves and beans of cacao (*Theobroma cacao* L.) in major cacao growing regions in Peru. *Science of The Total Environment*, 605-606, 792-800. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.122>
- Azcona Cruz, M., Ramirez y Ayala, R., & Vicente Flores, G. (2015). *Efectos del plomo*. 20, 72-77.
- Barceló, J., & Poschenrieder, C. (2003). *Phytoremediation: Principles and perspectives*. 2(3), 333-344.
- Barraza, F. (2021). *Factores que influyen en la concentracion de un metal en las plantas* [Comunicación personal].
- Barraza, F., Maurice, L., Uzu, G., Becerra, S., López, F., Ochoa-Herrera, V., Ruales, J., & Schreck, E. (2018). Distribution, contents and health risk assessment of metal(loid)s in small-scale farms in the Ecuadorian Amazon: An insight into impacts of oil activities. *Science of The Total Environment*, 622-623, 106-120. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.246>
- Borgtoft, & Baslev. (1990). *Ecuadoreans Palms for agroforestry* (N.º 23; p. 117). Botanical Institute Aarhus University. Pontificia Universidad católica de Ecuador. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13230/1/UPS-QT10340.pdf>
- Brian J. Alloway. (2012). *Heavy Metals in Soils Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability* (Third Edition, Vol. 22). Board.
- Caretur. (2021). *EL ají charapita: El ají más caro del mundo*. Caretur Loreto. <https://iquitostravelguide.com/el-aji-charapita-el-aji-mas-caro-del-mundo/>

- Carrillo Quezada, G. E. (2016). *Determinación microbiológica y de metales pesados en lechuga de repollo (Lactuca sativa), expendidos en los diferentes mercados del Distrito Metropolitano de Quito*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Castro Gómez, J. R. (2013). *Capsicum annuum L. como fitorremediador de suelos contaminados por metales pesados* [Universidad Nacional Autónoma de México].
https://www.zaragoza.unam.mx/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/biologia/tesis/tesis_castro_gomez.pdf
- Codex Stan 193-1995. (2009). *Normal general del codex para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos*.
http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/livestockgov/documents/CXS_193s.pdf
- De Datta, S. (1981). *Principles and practices of rice production* (2da ed.).
https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=Yxa5Sz_Puv4C&oi=fnd&pg=PR1&dq=Principles+and+practices+of+rice+production&ots=pVWmFd7OIz&sig=5tPClp_rfxYQxMAQdJiAO9Hsj0#v=onepage&q=Principles%20and%20practices%20of%20rice%20production&f=false
- Del Castillo, T., Otalora, E., & Freitas, L. (2006). *Aguje: La maravillosa palmera de la amazonía* (Perú, p. 54). Instituto de Investigaciones de la amazonía Peruana.
- Dollfus, C. (2014). Saturnismo infantil. *EMC - Pediatría*, 49(3), 1-9.
[https://doi.org/10.1016/S1245-1789\(14\)68092-6](https://doi.org/10.1016/S1245-1789(14)68092-6)
- Domenech, X., & Peral, J. (2006). Metales. Emisiones e impacto ambiental. En *Química Ambiental de sistemas terrestres* (Vol. 120). Reverté S.A.
- Egbujuo, C. I., Fullen, M. A., Guerra, A. J., & Opara, A. I. (2018). *Geochemical characterization of banana, buriti palm, jute and coir fibres for use as*

- biogeo textiles for erosion control*. 26(3), 202-215.
- <https://doi.org/10.3846/16486897.2017.1418365>
- FAO. (1997). Diseños y protocolos de muestreo. En C. Morón, I. Zacarías, & S. De Pablo (Eds.), *Producción y manejo de datos de composición química de alimentos en nutrición*. <http://www.fao.org/3/AH833S13.htm>
- FAO. (2004). *Arroz y la Nutricion Humana*. <http://www.fao.org/rice2004/es/f-sheet/hoja3.pdf>
- FAO. (2012). *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura: La gestión de los sistemas en situación de riesgo*. FAO : Mundi-Prensa.
- FAO. (2018). *La contaminación de suelo esta contaminando nuestro futuro*. <http://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1126977/>
- FAO. (2021). *Sistemas alimentarios*. <http://www.fao.org/food-systems/es/>
- Ferré-Huguet, N., Schuhmacher, M., Llobet, J., & Domingo, J. (2007). *Diseño de un software para evaluar los riesgos de la exposicion ambiental a través del agua, suelo y aire de los metales pesados y salud*. 108, 58.
- Florindez Chavez, J. M., & Siura Céspedes, S. (2012). *Evaluación de cultivares de lechuga (Lactuca sativa) para produccion de lechuga miniatura y madura bajo cultivo orgánico*. <http://www.lamolina.edu.pe/hortalizas/Investigacion/Tesis/Tesis%20Sustentadas/Resumen%20Julissa%20Florindez.pdf>
- García, C., Moreno, J. L., Hernandez, T., & Polo, A. (2002). Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo. En *Ciencia y medio ambiente*. Madrid, abril de 2002: *Segundas jornadas científicas sobre medio ambiente del CCMA-CSIC*.

- Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Centro de Ciencias Medioambientales. <http://hdl.handle.net/10261/111812>
- Granval, N., & Graviola, J. (1991). *Manual de producción de semillas hortícolas. Asociación Cooperadora de la Estación Experimental Agropecuaria. La Consulta.*
- Guerra, F., Trevizam, A. R., Muraoka, T., Chaves Mercante, N., & Canniatti-Brazaca, S. G. (2012). *Heavy metals in vegetables and potential risk for human health.* <https://doi.org/10.1590/S0103-90162012000100008>
- Huang, S. S., Liao, Q. L., Hua, M., Wu, X. M., Bi, K. S., Chen, B., & Zhang, X. Y. (2007). *Encuesta de contaminación por metales pesados y la evaluación de los suelos agrícolas en el distrito de Zhenjiang, provincia de Jiangsu, China.* 67, 2148-2155.
- Huaranga Moreno, F., Méndez García, E., Quilcat León, V., & Huaranga Arévalo, F. (2012). *Contaminación por metales pesados en la Cuenca del Río Moche, 1980 – 2010, La Libertad – Perú.* 3, 235-247.
- INEI. (2018). Características de la Población. En *Perú: Perfil Sociodemográfico, 2017* (p. 410). https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1539/
- INEI. (2020). *Efectos de la migración interna sobre el crecimiento y estructura demográfica.* https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1732/libro.pdf
- Infoagro. (2019). *EL cultivo de la lechuga.* InfoAgro.

Infoagro. (2020). *El cultivo del arroz*. InfoAgro.

<https://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/arroz2.htm>

Inge Thiel. (2020, julio 14). *Metales pesados* [Corporativa].

<https://www.mendoza.conicet.gov.ar/portal/enciclopedia/terminos/MetalesPes.htm>

Instituto Nacional de Innovación Agraria, I. (2019). *INIA intensifica el desarrollo de una variedad de arroz resistente a enfermedades y de buena calidad de grano*.

<https://www.inia.gob.pe/2019-nota-062/>

International Agency for Research on Cancer (IARC). (1990). *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: Volume 49. Chromium, Nickel, and Welding*. (Vol. 49).

International Agency for Research on Cancer (IARC). (2021). *Agents Classified by the IARC Monographs, Volumes 1–129*. IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans. <https://monographs.iarc.who.int/agents-classified-by-the-iarc/>

Jager, M., Jiménez, A., & Amaya, K. (2013). *Las cadenas de valor de los ajíes nativos de Perú*. 51 (26).

Kabata-Pendias, A. (2000). *Trace Elements in Soils and Plants*. (3rd ed.). CRC Press.

Kabata-Pendias, A., & Mukherjee, A. (2007). *Trace Elements from Soil to Human* (Springer: London).

Kabata-Pendias, A., & Pendias, H. (2001). *Trace elements in soils and plants* (3rd ed). CRC Press.

Kabata-Pendias, A., & Szteke, B. (2015). *Trace Elements in Abiotic and Biotic Environments*.

- Klein, C., & Costa, M. (2015). *Nickel*. 2, 1091-1111. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59453-2.00048-2>
- Koller, M., & Saleh, M. (2018). *Introductory Chapter: Introducing Heavy Metals*. 10. <https://doi.org/10.5772/intechopen.74783>
- Lemos Batisa, B., Ramos Nacano, L., De-Freitas, R., De Oliveira Souza, V. C., & Barbosa, F. (2012). *Determination of Essential (Ca, Fe, I, K, Mo) and Toxic Elements (Hg, Pb) in Brazilian Rice Grains and Estimation of Reference Daily Intake*. 3(1). <https://doi.org/10.4236/fns.2012.31019>
- Li, Y., Wang, Z., Qin, F., Fang, Z., Li, X., & Li, G. (2018). Potentially Toxic Elements and Health Risk Assessment in Farmland Systems around High-Concentrated Arsenic Coal Mining in Xingren, China. *Journal of Chemistry*, 2018, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2018/2198176>
- Lim, H. S., Lee, J. S., Chon, H. T., & Sager, M. (2008). Heavy metal contamination and health risk assessment in the vicinity of the abandoned Songcheon Au–Ag mine in Korea. *Journal of Geochemical Exploration*, 96(2-3), 223-230. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2007.04.008>
- Limmatvapirat, C., Phaechamud, T., & Charoenteeraboon, J. (2011). *Determination of Heavy Metals in Fruits of Capsicum Annuum L. by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*. 486, 135-138. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.486.135>
- Linnaeus, C. (2018). *Ají charapita*. Amazonía. Guía ilustrada de flora y fauna. <http://amazonia.iiap.org.pe/especies/ver/499>
- Londoño Franco, L., Londoño Muñoz, P., & Muñoz Garcia, F. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector*

- Agropecuaria y Agroindustrial*, 14(2), 145.
- [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)
- Luna, L. (2014). *Efecto de cuatro dosis de fosfonato de calcio-boro en el cultivo de ají charapita (Capsicum frutescens L.) en la localidad de Lamas* [Universidad Nacional de San Martín]. <https://core.ac.uk/download/pdf/287329291.pdf>
- Marschner, H. (2002). *Mineral nutrition of higher plants*. Academic. Press.
- Méndez Fajardo, S., Lara Borrero, J. A., Moreno, G., & Ayala, A. (2007). *Estudio preliminar de los niveles de cadmio en arroz, frijoles y lentejas distribuidos en supermercados de Bogotá y plazas de Manizales*. 7(2), 40-47.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, (MIDAGRI). (2019). *Commodities: Arroz* (N.º 01; p. 11). Dirección General de Políticas Agrarias.
- Mostajo Ocola, G. (2018). *Plan Nacional de Cultivos (Campaña Agrícola 2018-2019)* (p. 293). Ministerio de Agricultura y Riego.
- <https://agroarequipa.gob.pe/images/AGRICOLA/PLAN%20NACIONAL%20DE%20CULTIVOS%202018-2019%20APROBACION.compressed.pdf>
- Muñiz Ugarte, O., Rodríguez Algaro, M., Montero Álvarez, A., Estévez Álvarez, A., Estévez Álvarez, J., Aguiar Accioly, A., & Araujo Do Nascimento, C. (2015). *El níquel en suelos y plantas de Cuba*. 36, 25-33.
- Naseri, M., Varizadeh, A., Kazemi, R., & Zaheri, F. (2015). *Concentration of some heavy metals in rice types available in Shirazmarket and human health risk assessment*. 175, 243-248. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.109>
- Nava Ruíz, C., & Méndez Armenta, M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Arch Neuroclen (Mex)*, 16(3), 140-147.
- Nicho Pretell, B. N. (2018). *Estrategias comerciales para la exportación de aguaje (Mauritia flexuosa) de la región Loreto a Estados Unidos*. [Universidad Nacional

- Agraria La Molina].
- <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3792/nicho-pretell-betzabe-nataly.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Nidirect UK. (2021). *Healthy eating for children* [Informativa]. Nidirect Government Services. <https://www.nidirect.gov.uk/articles/healthy-eating-children>
- Nordberg, G., Nogawa, K., & Friberg, L. (2007). *Cadmium*. 445-485.
- Olivares Arias, V., Valverde Som, V., Quiros Rodriguez, V., García Romero, R., Muñoz, N., Navarro Alarcón, N., & Cabrera Vique, C. (2015). *Níquel en alimentos y factores influyentes en sus niveles, ingesta, biodisponibilidad y toxicidad: Una revisión*. 13(1), 87-101. <https://doi.org/10.1080/19476337.2014.917383>
- ONU. (2019). *Creciendo a un ritmo menor, se espera que la población mundial alcanzará 9.700 millones en 2050 y un máximo de casi 11.000 millones alrededor de 2100: Informe de la ONU*. https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_PressRelease_ES.pdf
- Organización mundial de la salud, (OMS). (2021). *Factores de riesgo*. https://www.who.int/topics/risk_factors/es/
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2021). *Sistemas Alimentarios Sostenibles para una Alimentación Saludable*. https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=14270:sistemas-alimentarios-sostenibles-para-una-alimentacion-saludable&Itemid=72259&lang=es
- Osredkar, J., & Sustar, N. (2011). *Heavy Metal Toxicity*. 18. <https://doi.org/10.4172/2161-0495.S3-001>
- Otero, X. L., Atiaga, O., Estrella, R., Tierra, W., Ruales, J., Zayas, L., Souza, V., Ferreira, T. O., Nóbrega, G. N., Oliveira, D. P., Queiroz, H. M., & Nunes, L. M.

- (2020). Geographical variations in arsenic contents in rice plants from Latin America and the Iberian Peninsula in relation to soil conditions. *Environmental Geochemistry and Health*. <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00581-8>
- Pereira Santana, G., & Abreu de Jesus, J. (2012). *Estudo de metais presentes na Mauritia Flexuosa L. E Euterpe Precatória mart. Da regio do Polo Industrial de Manaus*. 1(1), 21-24.
- Riveros Vailla, F. (2014). *Nivel de contaminación con metales pesados en suelos agrícolas y sus efectos en hortalizas en el valle Higuera, Huánuco*. 8(2), 42-51.
- Rodriguez Heredia, D. (2017). Intoxicación ocupacional por metales pesados. *Medisan*, 21(12), 3372.
- Rodriguez Zurichaqui, D. (2017). *Potencial de rendimiento de líneas mutantes de arroz (Oryza sativa L.) desarrolladas mediante aplicación de rayos gamma en condiciones del valle de Jequetepeque*. [Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2964/F30-R639-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=N%C2%B0%2001.-,Clasificaci%C3%B3n%20taxon%C3%B3mica%20del%20arroz.,%3A%20Oryza%20Especie%20%3A%20Oryza%20sativaLinn>.
- Salazar. (1986). *Arroz, Calidad molinera*. (p. 12) [ECASA-CIPA XVIII. Boletín Técnico].
- SERNANP. (2012). *Manejo sostenible del aguaje*. 20 (12).
- Shotyk, W., Belland, R., Duke, J., Kempter, H., Krachler, M., Noernberg, T., Pelletier, R., Vile, M. A., Wieder, K., Zacccone, C., & Zhang, S. (2014). Sphagnum Mosses from 21 Ombrotrophic Bogs in the Athabasca Bituminous Sands Region Show No Significant Atmospheric Contamination of “Heavy Metals”. *Environmental Science & Technology*, 48(21), 12603-12611. <https://doi.org/10.1021/es503751v>

- Siegel, F. R. (2013). *Environmental Geochemistry of Potentially Toxic Metals*. Springer Berlin / Heidelberg.
- <https://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=559583>
- 9
- Skerfving, S., & Bergdahl, I. (2015). *Lead*. 2, 911-967. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-59453-2.00043-3>
- Srivastava, N., & Majumder, C. (2008). *Novel biofiltration methods for the treatment of heavy metals from industrial wastewater*. 151, 1-8.
- <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.101>
- Tenazoa del Águila, R. (2019). *Procedencia del arroz, lechuga, aguaje y ají charapita a los mercados de la región San Martín*. (M. Rivero) [Radio].
- Thomas, R. (2013). *Practical guide to ICP-MS: A tutorial for beginners* (Third edition). CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Tokumori Pinna, J. C. (2018). *La demanda de la población migrante de la amazonía en Lima Metropolitana por los ajíes provenientes de la selva*. [Universidad Nacional Agraria La Molina].
- <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3542/tokumori-pinna-juan-carlos.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Trujillo, J. M., Torres, M. A., & Santana-Castañeda, E. S. (2011). *La palma de Moriche (Mauritia flexuosa L.) un ecosistema estratégico*. 15(1), 62-70.
- Uhi, N., & Dransfield, J. (1987). *Genera Palmarum. A classification of Palms based on the work of H. E. Moore Jr. L. H. Bailey Hortorium and the International Palm Society*. (p. 610).
- Unión Europea. (2006). *Reglamento (CE) No 1881/2006 DE LA COMISIÓN de 19 de diciembre de 2006 por el que se fija el contenido máximo de determinados*

contaminantes en los productos alimenticios.

<https://www.boe.es/doue/2006/364/L00005-00024.pdf>

United States Environmental Protection Agency, (EPA). (2018, agosto 17). *NATA Glossary of terms*. [https://www.epa.gov/national-air-toxics-assessment/nata-glossary-terms#:~:text=Hazard%20quotient%20\(HQ\)%3A,appropriate%20chronic%20or%20acute%20value\)](https://www.epa.gov/national-air-toxics-assessment/nata-glossary-terms#:~:text=Hazard%20quotient%20(HQ)%3A,appropriate%20chronic%20or%20acute%20value)).

United States Environmental Protection Agency (US EPA). (1992). *Guidelines for Exposure Assessment*. 57(104), 22888-22938.

United States Environmental Protection Agency (US EPA). (2001). *Risk Assessment Guidance for Superfund: Volume III - Part A, Process for Conducting Probabilistic Risk Assessment*. https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/rags3adt_complete.pdf

United States Environmental Protection Agency (US EPA). (2002). *Child-Specific Exposure Factors Handbook* (p. 448). U.S. Environmental Protection Agency.

United States Environmental Protection Agency (US EPA). (2011). *Exposure Factors Handbook: 2011 Edition*.

United States Environmental Protection Agency (US EPA). (2014). *Priority Pollutant List*. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/priority-pollutant-list-epa.pdf>

United States Environmental Protection Agency (US EPA). (2019). *Integrated Risk Information System (IRIS)*. Risk Assessment. <https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=2776>

United States Environmental Protection Agency (US EPA). (2021). *Lead and compounds (inorganic)*. IRIS. https://iris.epa.gov/ChemicalLanding/&substance_nmbr=277

- Velasquez Paredes, M. N. (2017). *Determinación de metales pesados y pérdidas poscosecha en dos hortalizas de consumo directo: Tomate (*Solanum lycopersicum*) y lechuga (*Lactuca sativa*)* [Universidad Central del Ecuador].
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/12691>.
- Villavicencio Caparó, E. (2018). El tamaño muestral para la tesis. ¿Cuántas personas debo encuestar? *Odontología Activa Revista Científica*, 2(1), 59-62.
<https://doi.org/10.31984/oactiva.v2i1.175>
- Whitaker, T., & Ryder, E. (1964). *La lechuga y su producción* (p. 53).
- World Health Organization (Ed.). (2008). *Guidelines for drinking-water quality* (3rd ed, Vol. 1). World Health Organization.
https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/204411/9789241547611_eng.pdf?sequence=1
- World Health Organization, Regional Office for Europe, & Joint WHO/Convention Task Force on the Health Aspects of Air Pollution. (2007). *Health risks of heavy metals from long-range transboundary air pollution*. World Health Organization Regional Office Europe.
- World Health Organization (WHO). (2011). *Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants. Cadmium and Lead* (p. 458) [Technical Report Series 960]. WHO.
- Zejnnullahu, B., Kucaj, E., Abazi, U., & Harizaj, F. (2017). *Evaluation of Heavy Metal Content in Capsicum Annuum In Obiliq, Kosovo*. 6(10), 186-189.

XVIII. ABREVIATURAS

ADD	Dosis diaria promedio
AT	Tiempo promedio.
As	Arsénico.
BW	Peso corporal del consumidor
Cd	Cadmio.
Cr	Cromo.
Cu	Cobre.
Ci	Concentración del metal pesado.
ED	Duración de la exposición
EF	Frecuencia de exposición.
EDI	Ingesta diaria estimada.
EPA	United States Environmental Protection Agency.
HI	Índice de peligro.
HQ	Cociente de riesgo
ICP MS	Espectrometría de Masas con Plasma de acoplamiento inductivo.
IR	Tasa de ingestión.
mg kg ⁻¹	Miligramo por kilogramo.
Ni	Níquel.
Pb	Plomo.

Rfd	Referencia de dosis.
WHO	World Health Organization / Organización Mundial de la Salud.
Zn	Zinc.

XIX. ANEXOS

Anexo 1. Formato de consentimiento informado.

¡Hola! Soy María Claudia Rivero, actual tesista de la Universidad Científica del Sur y el Instituto de Cultivos Tropicales. El presente formulario es parte de un proyecto de investigación realizado en cinco ciudades de la región San Martín (Moyobamba, Lamas, Tarapoto, Juanjuí y Tocache) que tiene como finalidad determinar la cantidad y frecuencia de consumo de alimentos básicos y amazónicos.

La participación en esta investigación es voluntaria, puede incluso retirarse de la misma luego de haber aceptado inicialmente realizarla. Todos los datos obtenidos serán manejados exclusivamente por mi persona; asimismo, no se realizarán otras investigaciones diferentes a lo detallado.

(De estar de acuerdo en realizar el presente cuestionario, dar click en aceptar).

Agradecería mucho tu apoyo.

Anexo 2. Formato de encuesta de consumo de alimentos.



CIENTÍFICA



ENCUESTA DE CONSUMO DE ALIMENTOS – REGIÓN SAN MARTÍN

¿Está de acuerdo con los datos formulados en el presente cuestionario?

 SI

 NO

Nombres: _____

Sexo:

 F

 M

Edad: _____ Peso: _____ Talla: _____

Ciudad y Distrito: _____

Nivel de educación: _____

1. Cantidad de personas que conforman su hogar. Si tiene niños ¿cuáles son sus edades?:

2. Responder la siguiente tabla respecto a la frecuencia y cantidad de consumo de los siguientes cereales, vegetales y frutas:

Alimento	Frecuencia de consumo (diario, semanal o mensual)	Cantidad estimada por porción de consumo (unidad, peso Kg, L o precio S/)
Arroz		
Aguaje		
Ají charapita		
Lechuga (local)		

***Enlace de acceso a la encuesta virtual:**

<https://es.surveymonkey.com/r/DG5BFWQ>

Anexo 3. Estándares de ingesta de metales pesados.

Limite tolerable de ingesta por persona mg kg ⁻¹					
WHO	Pb	0.003			
	Cd	0.025			
	Ni	0.012			
Concentración máxima permitida mg kg ⁻¹					
UE reglamento CE n°1881/2006		Hortalizas hoja	Hortalizas fruto	cereales	Frutas no pequeñas
	Pb	0.10	0.10	0.20	0.10
	Cd	0.20	0.05	0.20	0.05
Nivel máximo (NM) mg kg ⁻¹					
CODEX STAN 193-1995		Hortalizas hoja	Hortalizas fruto	Cereales/ arroz pulido	Frutas no pequeñas
	Pb	0.30	0.05		-
	Cd	0.2	0.05	0.40	-

Anexo 4. Base de datos de la concentración de metales pesados

Ciudad	Alimento	Concentración Ni	Concentración Cd	Concentración Pb
	Arroz	0.073	0.088	0.004
Tocache	Arroz	0.118	0.138	0.008
	Arroz	0.045	0.050	0.004
	Arroz	0.068	0.005	0.003
Juanjuí	Arroz	0.111	0.010	0.007
	Arroz	0.043	0.005	0.003
	Arroz	0.218	0.027	0.027
Tarapoto	Arroz	0.280	0.049	0.049
	Arroz	0.062	0.022	0.022
	Arroz	0.039	0.004	0.004
Lamas	Arroz	0.069	0.008	0.008
	Arroz	0.030	0.004	0.004
	Arroz	0.078	0.079	0.002
Moyobamba	Arroz	0.125	0.126	0.005
	Arroz	0.047	0.047	0.002
	Lechuga	8.189	0.095	0.187
Tocache	Lechuga	3.400	0.147	0.249
	Lechuga	9.861	0.052	0.062
	Lechuga	0.971	0.340	3.350
Juanjuí	Lechuga	1.748	1.359	9.029
	Lechuga	<LOD	0.922	5.243
	Lechuga	0.800	0.534	0.068
Tarapoto	Lechuga	0.679	0.522	0.111
	Lechuga	0.121	0.012	0.043

	Lechuga	8.189	0.226	0.381
Lamas	Lechuga	3.401	0.190	0.260
	Lechuga	9.865	0.059	0.062
Moyobamba	Lechuga	6.010	0.194	0.122
	Lechuga	6.650	0.256	0.180
	Lechuga	6.716	0.062	0.058
Tocache	Ají charapita	0.978	0.341	0.065
	Ají charapita	0.895	0.251	0.030
	Ají charapita	0.354	0.062	0.014
Juanjuí	Ají charapita	1.055	0.168	0.063
	Ají charapita	0.807	0.230	0.105
Tarapoto	Ají charapita	0.248	0.062	0.041
	Ají charapita	1.744	0.091	0.030
	Ají charapita	1.094	0.142	0.054
Lamas	Ají charapita	0.650	0.051	0.024
	Ají charapita	0.714	2.686	7.429
	Ají charapita	0.631	1.408	5.283
Moyobamba	Ají charapita	0.083	1.278	2.260
	Ají charapita	1.425	0.113	0.047
	Ají charapita	1.154	0.102	0.036
Tocache	Ají charapita	0.754	0.040	0.017
	Aguaje	<LOD	0.631	1.165
	Aguaje	0.236	0.142	1.698
Juanjuí	Aguaje	0.294	0.245	3.824
	Aguaje	0.693	0.198	2.624
	Aguaje	<LOD	0.667	2.429
Tarapoto	Aguaje	0.481	0.577	1.923
	Aguaje	0.831	0.012	0.012
	Aguaje	0.240	0.007	0.007
Lamas	Aguaje	0.062	0.003	0.003
	Aguaje	0.423	0.005	0.008
	Aguaje	0.447	0.010	0.016
Moyobamba	Aguaje	0.024	0.005	0.008
	Aguaje	0.474	0.055	0.006
	Aguaje	0.407	0.048	0.005
	Aguaje	0.038	0.022	0.002

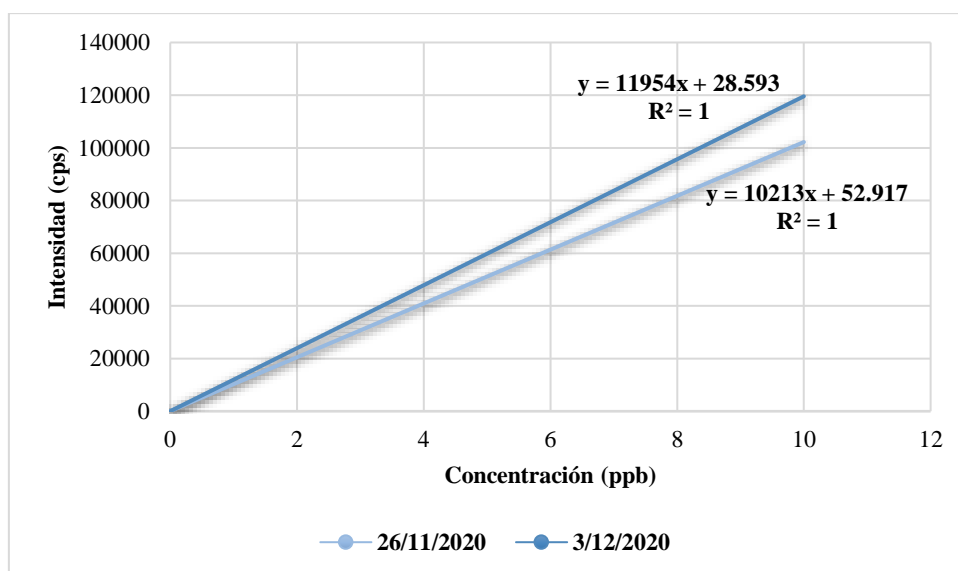
Anexo 5. Límites de detección (LOD) y de cuantificación (LOQ) del ICP-MS así como el límite de detección del método de mineralización (MDL)

	Cd	Ni	Pb
LOD (ng/L) (n=10)	0.190	1.029	0.067
LOQ (ng/L) (n=10)	0.743	6.315	0.458
MDL (mg/kg) (n=6)	0.000	0.090	0.037

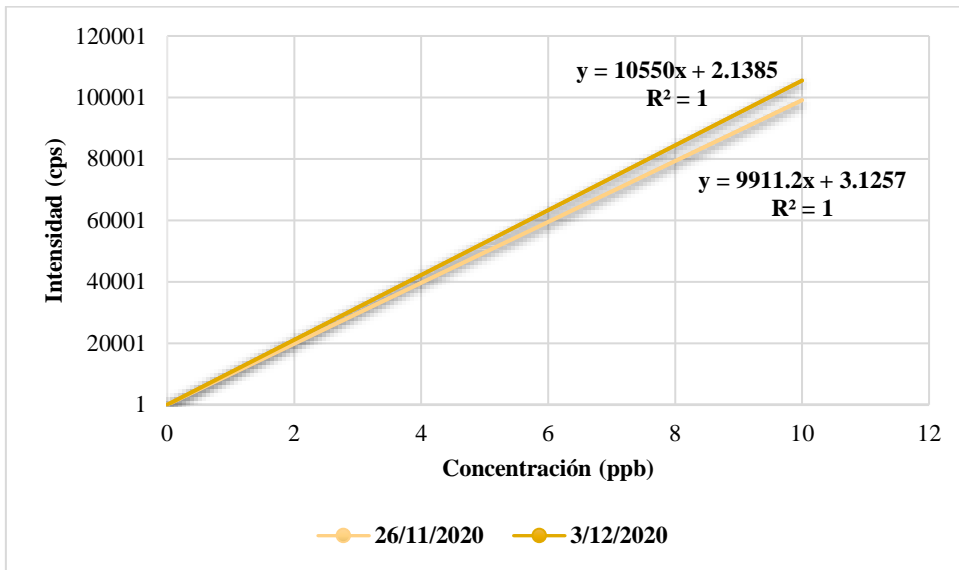
Anexo 6. Rendimiento (% R) del material de referencia certificado

	Cd			Ni			Pb		
	Certificado	Medido	% R	Certificado	Medido	% R	Certificado	Medido	% R
NIST 1640a (µg/L)	3.99±0.07	3.89 ±0.10	97	25.30±0.14	25.12 ±1.22	99	12.10±0.05	11.67±0.19	96
SPS-SW2 (µg/L)	2.50±0.02	2.55±0.10	102	50±0.30	51.32±2.86	103	25±0.10	24.53±0.79	98
NIST SRM 1515 (mg/kg)	0.0132±0.0015	0.013±0.02	98	0.936±0.094	0.80±0.01	86	0.47±0.024	0.54±0.04	114
NIST SRM 1547 (mg/kg)	0.0261±0.0022	0.025±0.00	97	0.689±0.095	0.64±0.16	93	0.869±0.018	0.79±0.21	91

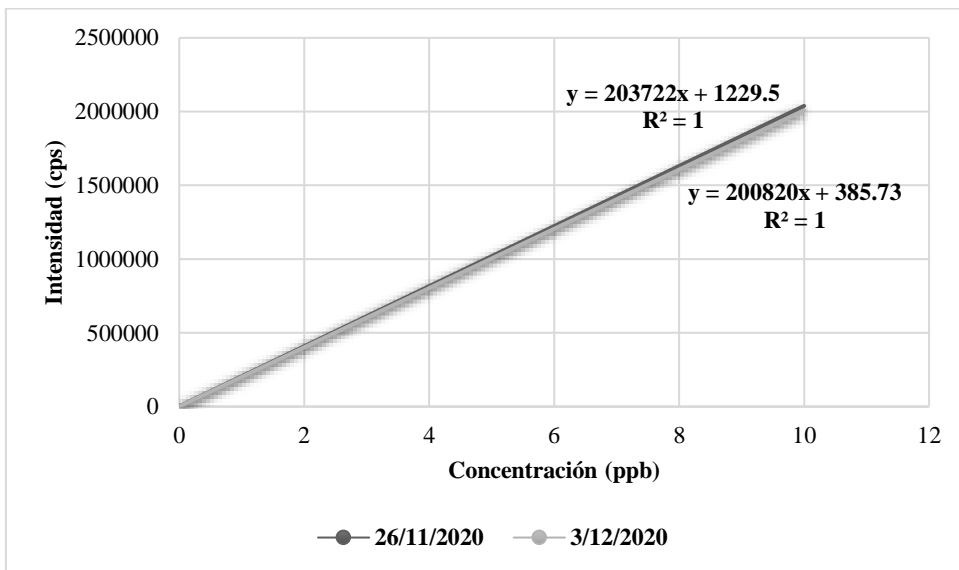
Anexo 7. Curva de calibración Ni.



Anexo 8. Curva de calibración Cd.



Anexo 9. Curva de calibración Pb



Anexo 10. Toma de muestras – compras en los mercados.



Anexo 11. Consulta de la procedencia de los alimentos.



Anexo 12. Selección y limpieza de los alimentos.



Anexo 13. Molienda a mano de arroz.



Anexo 14. Envasado y rotulado de muestras.



Anexo 15. Sala de preparación de muestras Clase 10,000, laboratorio SWAMP. A. Cabina de flujo laminar donde se pesaron las muestras y se agregó el HNO₃. B y C. Ultraclave donde se realizaron las mineralizaciones.



Anexo 16. ICP-MS cuadrupole ICAP-Qc (ThermoFisher), laboratorio SWAMP.

