UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL, BIOSISTEMAS Y DE LA ENERGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERA AMBIENTAL

EVALUACIÓN DEL RIESGO ECOLÓGICO Y PARA LA SALUD POR EXPOSICIÓN A METALES PESADOS EN ARROZ PRODUCIDO EN LAS REGIONES AMAZONAS Y CAJAMARCA

Autora:

Bach. Camila Nicole Huamán Cotrina

Asesores:

Ms. Grobert Amado Guadalupe Chuqui

Dr. Erick Stevinsonn Arellanos Carrión

Registro:_____

Chachapoyas – Perú

2025

DEDICATORIA

Durante estos años en la universidad, han sido llenos de esfuerzos y sacrificios, los cuales se han sellado de manera satisfactoria. Es así que en primer lugar quiero agradecer a Dios, por haberme dado la vida, salud y la fuerza para cumplir con cada uno de mis objetivos para llegar a ser profesional.

Así mismo, quiero dedicar esta tesis a mis padres, Elías Huamán Santillán y Maria Rosela Cotrina Vásquez, quienes han sido mi pilar fundamental en todos estos años, gracias por todos sus consejos y valores que día a día me inculcaron; gracias por toda la motivación durante los momentos buenos y malos, y sobre todo a enseñarme el valor de nunca dejarme vencer a pesar de todo los desafíos que se pusieron en mi camino.

Por último, esta tesis también va dedicada a mi pequeña hija Génesis Juliet Pereda Huamán, quien fue mi principal impulso para salir adelante, gracias por acompañarme en mis noches de desvelo y alentarme a no rendirme; gracias por todo su amor incondicional, el cual me ha hecho fuerte y me ha demostrado que puedo luchar contra todo.

Camila Nicole Huamán Cotrina

AGRADECIMIENTOS

"Agradezco a Dios, a mis padres y a mi pequeña hija que estuvieron presentes durante el desarrollo del proyecto; gracias por su apoyo constante en los momentos buenos y malos, su presencia fue fundamental en este proceso"

"Quiero extender mi sincera gratitud a mis asesores de tesis; Ms. Grobert Amado Guadalupe Chuqui y al Dr. Erick Stevinsonn Arellanos Carrión, quienes con su paciencia y guía han sido un soporte fundamental para el desarrollo de este proyecto, gracias infinitas por su tiempo y confianza".

"A mis familiares, amigos y compañeros, quienes estuvieron presente para darme aliento para salir adelante, sus consejos fueron de gran ayuda en este proceso"

Camila Nicole Huamán Cotrina

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS

Ph D. Jorge Luis Maicelo Quintana

Rector

Dr. Oscar Andrés Gamarra Torres

Vicerrector Académico

Dra. María Nelly Luján Espinoza

Vicerrectora de Investigación

Ph. D. Ricardo Edmundo Campos Ramos

Decano de la Facultad de Ingeniería Ambiental, Biosistemas y de la Energía

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS

UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-L

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo ( ), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada EVALUACIÓN DEL RIESGO ECOLÓGICO Y PARA LA SALUD POR EXPOSICIÓN A METALES PESADOS EN ARROZ PRODUCIDO EN LOS REGIONES AMAZONAS Y CAJAMARCA ; del egresado CAMILA NICOLE HUAMÁN COTRINA de la Facultad de INGENIERÍA AMBIENTAL, BIOSISTEMAS Y DE LA ENERGÍA, Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL, de esta Casa Superior de Estudios.

El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 02 de Octubre de 2025

Firma y nombre completo del Asesor

Gilbert Amado Guadalupe Chuquí

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS

UNTRM — REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-L

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo ( ), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada EVALUACIÓN DEL RIESGO ECOLÓGICO Y PARA LA SALUD POR EXPOSICIÓN A METALES PESADOS EN ARROZ PRODUCIDO EN LAS REGIONES AMAZONAS Y CAJAMARCA ; del egresado CAMILA NICOLE HUAMÁN COTRINA de la Facultad de INGENIERÍA AMBIENTAL, BIOSISTEMAS Y DE LA ENERGÍA Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL , de esta Casa Superior de Estudios.

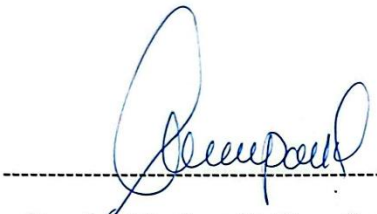
UNTRM

El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 02 de Octubre de 2025

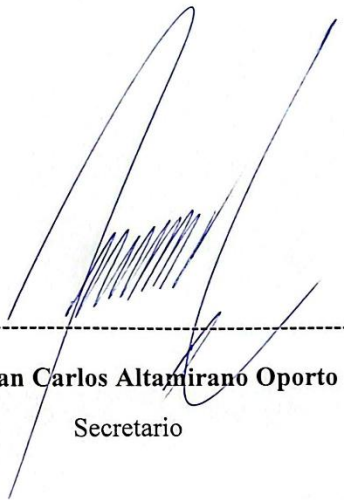
Firma y nombre completo del Asesor
Erick Steevensonn Arellanos Carrión

JURADO EVALUADOR DE TESIS



Dra. Liz Marjory Steffany Cumpa Velásquez

Presidente



Mg. Juan Carlos Altamirano Oporto

Secretario

M. Sc. Jefferson Fitzgerald Reyes Farje

Vocal

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS

UNTRM — REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-Q

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

Evaluación del riesgo ecológico y para la salud por exposición a metales pesados en arroz producidos en las regiones Amazonas y Cajamarca

presentada por el estudiante ( )/egresado (x) Camila Nicole Humán Cotrina

de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental,

con correo electrónico institucional 7266013092@untrm.edu.pe,

después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

a) La citada Tesis tiene 21 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor (x) / igual ( ) al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.

b) La citada Tesis tiene _____ % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.

Chachapoyas, 07 de noviembre del 2025

SECRETARIO

PRESIDENTE

VOCAL

OBSERVACIONES:

.....

.....

REPORTE DE TURNITIN

Tesis Camila Huamán Rev6.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

21%	20%	10%	9%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	5%
2	ouci.dntb.gov.ua Fuente de Internet	1%
3	dehesa.unex.es Fuente de Internet	1%
4	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
5	link.springer.com Fuente de Internet	1%
6	repositorio.untrm.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	mcf.gsfc.nasa.gov Fuente de Internet	1%
8	digitallibrary.tulane.edu Fuente de Internet	1%
9	Fajun Tian, Zhenzhen Zhou, Junfeng Lu, Chengkui Qiao, Caixia Wang, Tao Pang, Linlin Guo, Jun Li, Rongli Pang, Hanzhong Xie. "Residual behaviors and health risk assessment of dinotefuran, flonicamid, and their metabolites during apple growth, storage, and processing", Food Research International, 2025 Publicación	1%

Dra. Liz Horary Stefany Campa Velasquez
DNI 46474544

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-S

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 2 de diciembre del año 2025 siendo las 9.00 horas, el aspirante: Camila Nicole Huaman Cotrina, asesorado por Gisbert Amado Guadalupe Choqui defiende en sesión pública presencial (X) / a distancia ( ) la Tesis titulada: Evaluación del Riesgo Ecológico y para la Salud por Exposición a Metales Pesados en Arroz producido en las regiones Amazonas y Cajamarca. para obtener el Título Profesional de Ingeniería Ambiental a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: Liz Mayory Stefany Lumpa Velásquez
Secretario: Juan Carlos Alamirano Oporto
Vocal: Jefferson Fitzgerald Reyes Farje.

UNTRM

Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado (X) por Unanimidad (X)/Mayoría ( ) Desaprobado ( )

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 11.09 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.

SECRETARIO

PRESIDENTE

VOCAL

OBSERVACIONES:

.....

ÍNDICE

DEDICATORIA ii

AGRADECIMIENTOS iii

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS iv

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS v

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS vi

JURADO EVALUADOR DE TESIS vii

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS viii

REPORTE DE TURNITIN ix

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS x

ÍNDICE DE TABLAS xiv

ÍNDICE DE FIGURAS xv

RESUMEN xvi

ABSTRACT xvii

I. INTRODUCCIÓN 18

II. MATERIALES Y MÉTODOS 21

2.1. Diseño de la investigación 21

2.2. Área de estudio 21

2.3. Muestra y Muestreo 22

2.3.1. Muestra 22

2.3.2. Muestreo 23

2.4. Variables de estudio 23

2.5. Métodos 23

2.5.1. Cuantificación de metales pesados - Espectrometría de emisión atómica de plasma de microondas 23

2.5.2. Evaluación de la exposición 24

2.5.3. Caracterización de riesgo 24

2.5.4. Índices únicos de contaminación 26

2.5.5. Riesgo ecológico 27

2.6. Técnicas y procedimientos 28

2.6.1. Muestras en campo 28

2.6.2. Procedimiento de recolección de muestras 28

2.6.3. Cuantificación de metales pesados para vegetales 28

2.6.4. Cuantificación de metales pesados para suelos 30

2.7. Análisis de datos 33

III. RESULTADOS 34

3.1. Concentración de metales 34

3.2. Riesgo Ecológico 35

3.3. Riesgo para la salud 39

IV. DISCUSIÓN 43

V. CONCLUSIONES 46

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 47

VII. ANEXOS 54

7.1. Panel fotográfico 54

7.2. Emisión de resultados de tejido vegetal y suelos 56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Concentración de metales pesados en suelos y en granos de arroz 34

Tabla 2. Ingesta diaria estimada (EDI). 40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución geográfica de los puntos de muestreo.... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 2. Metodología para la determinación de metales pesados en granos de arroz. 30

Figura 3. Metodología para la determinación de metales pesados en suelos. 32

Figura 4. Percentil medio, 5 (P5), y 95 (P95) del factor de bioacumulación (BAF). en granos de arroz por región y provincia de producción. 35

Figura 5. Percentil medio, 5 (P5), y 95 (P95) del índice de geo-acumulación (Igeo) por región y provincia de producción. 36

Figura 6. Percentil medio, 5 (P5) y 95 (P95) del índice de contaminación único (PI) por región y provincia de producción. 37

Figura 7. Percentil medio, 5 (P5) y 95 (P95) del riesgo ecológico (ER) por región y provincia de producción. 38

Figura 8. Percentil medio, 5 (P5) y 95 (P95) del índice de riesgo ecológico potencial (IR) por región y provincia de producción. 39

Figura 9. Coeficiente de Peligro para Arsénico. 41

Figura 10. Coeficiente de Peligro para Cadmio. 41

Figura 11. Riesgo de Cáncer para Arsénico y Plomo 42

RESUMEN

Se pretende comprender el riesgo ecológico y para la salud, ocasionado por metales pesados en cultivos de arroz en las regiones de Amazonas y Cajamarca. Para evaluar el riesgo se evaluaron arsénico (As), cadmio (Cd) y plomo (Pb) en los granos de arroz y suelo. Los resultados indicaron lo siguiente: el As fue el metal que se encontró en mayor acumulación en los suelos y granos de arroz, con valores de 40.874 mg/kg y 0.390 mg/kg, respectivamente, seguido de Pb, con valores de 26.334 mg/kg para suelos y 0.234 mg/kg para granos de arroz. Siendo Cd el metal que solo tuvo presencia en los suelos con valor de 1.546 mg/kg. Para el factor de bioacumulación (BAF) en el suelo se indica que es baja para los tres metales evaluados. El índice de geocumulación (Igeo) mostró que los suelos estaban contaminados por As, mientras que Pb y Cd se encontraban en bajas concentraciones. Asimismo, para el riesgo ecológico se encontró riesgo considerado para Cd y As, mientras que para Pb los valores son bajos. Finalmente, el As representa el mayor riesgo de desarrollar cáncer, mientras que el Pb presenta una probabilidad mínima de causar esta enfermedad.

Palabras clave: riesgo ecológico; riesgo para la salud; bioacumulación.

ABSTRACT

The aim is to understand the ecological and health risks caused by heavy metals in rice crops in the Amazonas and Cajamarca regions. To evaluate the risk, Arsenic (As), Cadmium (Cd), and Lead (Pb) were evaluated in rice grains and soil. The results indicated the following: As was the metal found in the highest accumulation in soils and rice grains, with values of 40.874 mg/kg and 0.390 mg/kg, respectively, followed by Pb with values of 26.334 mg/kg for soils and 0.234 mg/kg for rice grains. Cd is the metal that was only present in the soils with a value of 1,546 mg/kg. For the bioaccumulation factor (BAF) in the soil, it is indicated that it is low for the three metals evaluated. The geoaccumulation index (Igeo) indicated that the soils were contaminated by arsenic (As), while lead (Pb) and cadmium (Cd) were present in low concentrations. Likewise, for the ecological risk, risk was found to be considered for Cd and Arsenic, while for Pb, the values are low. Finally, the risk of contracting cancer is highest for As, while for Pb, it is minimal to contract this disease.

Keywords: ecological risk; health risk; bioaccumulation

I. INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa L.*) es fuente de sustento para más de un tercio de los habitantes del mundo (Bernardi, 2018), debido a que este cereal proporciona más calorías entre los cereales más consumidos; actualmente, este producto es el segundo cereal más consumido después del trigo (Pinciroli et al., 2015). Proporciona, específicamente, el 20% de energía, aportando 350 kcal por cada 10 g de arroz en la dieta del ser humano (Morice, 2011). Asimismo, es una buena fuente de tiamina, niacina y fibra alimenticia (Sociedad et al., 2019). Sin embargo, este cultivo absorbe metales pesados en las etapas del crecimiento y desarrollo de la planta, estos metales pesados normalmente se acumularán en las raíces, y, posteriormente, se transportan a tallos y hojas (Zou et al., 2023a). Los principales metales pesados que absorbe el arroz son el cadmio (Cd), plomo (Pb), arsénico (As), cobre (Cu), zinc (Zn), cromo (Cr), mercurio (Hg) y níquel (Ni) (Hu et al., 2019).

Estudios recientes han identificado las principales fuentes a través de las cuales las plantas de arroz absorben metales pesados; el Cd se debe a utilización de fertilizantes químicos fosfatados, así como también producto de las actividades antrópicas industriales (Mogollón, 2020). El Cr, por lo general, se obtiene a partir de residuos de la industria, de producción de acero inoxidable, la obtención de sustancias químicas, entre otros (Poschenrieder, 1987). El Pb se puede encontrar de manera natural o por la acción del hombre en las actividades domésticas e industriales (Zhou et al., 2014). La absorción de Hg es producto de las actividades industriales cercanas al lugar donde se cultiva (Argumedo et al, 2015). Por otra parte, la contaminación por As se debe a la absorción natural de la tierra y las actividades industriales (Lü et al., 2021). Por último, la presencia de Cu, Zn y Ni, por lo general, está directamente relacionada al uso de pesticidas e insecticidas usados en procesos de producción del arroz (Hu et al., 2019).

En este contexto, la presencia de metales pesados en el cultivo de arroz es de origen antrópico y natural (Reyes et al., 2016). Esto significa que se puede originar producto de las actividades antropogénicas, como industrias y minería, o de forma natural, producto de la composición de las rocas y los suelos (Beltrán Pineda & Gómez Rodríguez, 2015). Asimismo, cuando se utilizan herbicidas, pesticidas e insecticidas para mejorar la productividad del arroz, se puede contaminar con metales pesados (Shan et al., 2021). Por otro lado, Reyes et al. (2016) mencionan que los metales pesados se introducen en los vegetales más rápido producto de las aguas contaminadas que se emplean para regar el

cultivo. Debido a ello, es necesario ampliar el conocimiento sobre cómo afectan los herbicidas, pesticidas e insecticidas en la acumulación de metales pesados en granos de arroz (Fu et al., 2018), ya que Zhao et al. (2023) mencionan que la absorción de foliares puede ser clave para la contaminación de algunos metales pesados, así mismo refieren que su limitante es que no tuvo en cuenta la combinación de metales pesados, es por ello que en el futuro podría subestimarse y significar un riego para la salud (Al-Saleh & Abduljabbar, 2017; Zhao et al., 2023) y así como también significar un riesgo ecológico (Natasha et al., 2022). Kumar et al. (2024) nos indican que en estudios realizados se evalúan los riesgos cancerígenos y no cancerígenos en el consumo de granos de arroz, donde demuestran que el Cd y el Ni son los más perjudiciales para la salud. Asimismo, también se ha demostrado que mientras la ingestión de arroz sea más prolongada en adultos y niños, el riesgo cancerígeno por metales pesados será mayor (Lin et al., 2023). Ante esta situación, numerosos estudios afirman la necesidad de evaluaciones en los alimentos de origen vegetal debido al alto índice de contaminación por metales pesados (Reyes et al., 2016). Por otro lado, existe mayor riesgo ecológico producto de los fertilizantes usados durante el cultivo de los arrozales, lo que se demuestra en estudios realizados en China y Pakistán (Natasha et al., 2022; Tan et al., 2023).

Algunos mecanismos que explican la absorción de los metales pesados en los cultivos de arroz son debido a los factores ambientales, es así que Kang et al. (2023) mencionan que, si existen bajas temperaturas, se dará un aumento de la absorción de metales. Asimismo, la absorción de metales pesados, se puede deber a la variedad del arroz, ya que esto puede deberse a los genes involucrados en el proceso (Xie et al., 2018). Por otro lado, este factor también se puede deber a los mecanismos de transporte de metal pesado en el cultivo, en este caso Uraguchi & Fujiwara (2012) mencionan que en estudios fisiológicos existen cuatro procesos de transporte de acumulación de metales: absorción por raíz, translocación de la raíz al brote, redirección en los nudos y removilización desde las hojas. Por último, la fisiología de la planta hace posible el transporte y acumulación de metales pesados, esto se hace a través de la absorción de las raíces y después por el transporte del xilema y floema (Zou et al., 2023a).

Cabe mencionar que los metales, debido a sus propiedades altamente tóxicas, pueden causar daños en los organismos (Beltrán Pineda & Gómez Rodriguez, 2015). Concretamente, liberando agentes contaminantes, generando riesgos para la salud humana y el ambiente (MINAM, 2008). Por consiguiente, la contaminación por metales

en granos de arroz tiene repercusiones adversas para la salud, incluyendo cáncer, alteraciones en el sistema nervioso, afecciones directas a órganos, entre otros (Beltrán Pineda & Gómez Rodriguez, 2015), siempre y cuando los niveles de exposición sean altos (Dunia & Heredia, 2017). Además, investigadores han visto que la seguridad del arroz se ha visto amenazada por As y Cu, afectando a los niños y produciendo riesgos cancerígenos para la salud (Lü et al., 2021); esto se debe a una combinación de exposición al Pb y al As (Fu et al., 2018).

Desde el punto ambiental, cuando los suelos están contaminados por metales pesados se vuelven ácidos, presentan bajas cargas iónicas y de saturación, además, menor disposición de materia orgánica (Torrente et al., 2020). Sumado a ello, las cantidades elevadas de metales pesados puede traer consigo enfermedades para el arroz y muchas veces consigo plagas (Shan et al., 2021). Por otro lado, Kang et al. (2023) mencionan que el cambio climático y las altas temperaturas pueden disminuir los micronutrientes del suelo que son esenciales para los cultivos; asimismo, indican que el cultivo de arroz emite gases de efecto invernadero debido al uso de fertilizantes en el cultivo.

Son dos los métodos más utilizados para detectar metales pesados. El primero es la espectrofotometría de absorción atómica, la cual permite caracterizar cuantitativamente y cualitativamente los metales pesados, empleando radiación electromagnética (Madueño, 2017). Las ventajas del método son su bajo costo y fácil operación. Su principal desventaja es su baja eficiencia entre la interacción del analito y la trayectoria de la luz, produciendo reacciones indeseadas en el contraste del análisis (Kartoğlu et al., 2023). El segundo método es la espectrofotometría de emisión atómica que mide distintos metales pesados a través de una luz emitida por una llama, la ventaja es su alta precisión en la determinación de metales pesados (López & Hamad, 2010).

En este contexto se busca comprender, cuál es el riesgo ecológico y para la salud por la exposición a metales pesados en arroz producido en las regiones Amazonas y Cajamarca. Es por ello, que se ha planteado el objetivo de evaluar el riesgo ecológico y para la salud humana por exposición a metales pesados en arroz producido en las regiones Amazonas y Cajamarca, para lo cual se plantearon los siguientes objetivos específicos (i) determinar la concentración de As, Cd, y Pb en granos de arroz en las regiones de Amazonas y Cajamarca, (ii) estimar la ingesta diaria de As, Cd, y Pb a través del consumo de arroz,

(iii) caracterizar el riesgo para la salud de los consumidores, y (iv) caracterizar el riesgo ecológico de As, Cd, y Pb en el cultivo de arroz en las regiones de Amazonas y Cajamarca.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Diseño de la investigación

La metodología nos servirá para identificar el tipo, nivel, enfoque y diseño de la investigación. En este caso, es una investigación de tipo básico y aplicado, debido a que se buscará recoger información de la realidad en busca de un nuevo conocimiento. Así como también aplicar conocimientos teóricos a determinadas situaciones (Sánchez Carlessi & Reyes Meza, 2015). En este caso, identificando la concentración de metales pesados en granos de arroz. Además, el nivel de investigación en este caso es evaluativo, debido a que busca establecer los factores de asociación con los resultados obtenidos (Cuadra Charme, 1981). En cuanto al enfoque, tiene uno cuantitativo ya que usará métodos y técnicas cuantitativas, es decir usa mediciones, magnitudes, entre otros (Ñaupas et al., 2014). Y por último en el diseño de investigación se tomará al no experimental ya que solo se recolectará las variables y no se manipulará (Dzul Escamila, 2013). En cuanto al objetivo específico uno, dos y cuatro se usará el diseño descriptivo comparativo, ya que en este caso se considerada dos investigaciones simples donde se establecerá las diferencias (Sánchez Carlessi & Reyes Meza, 2015), ya que en este caso se obtendrán datos de Amazonas y Cajamarca. En cuanto al objetivo específico tres se usará un diseño experimental descriptivo simple y descriptivo comparativo (Sánchez Carlessi & Reyes Meza, 2015), ya que al obtener los datos se determinará el análisis de riesgo, asimismo, se hará una comparativa con la normativa para determinar el peligro.

2.2. Área de estudio

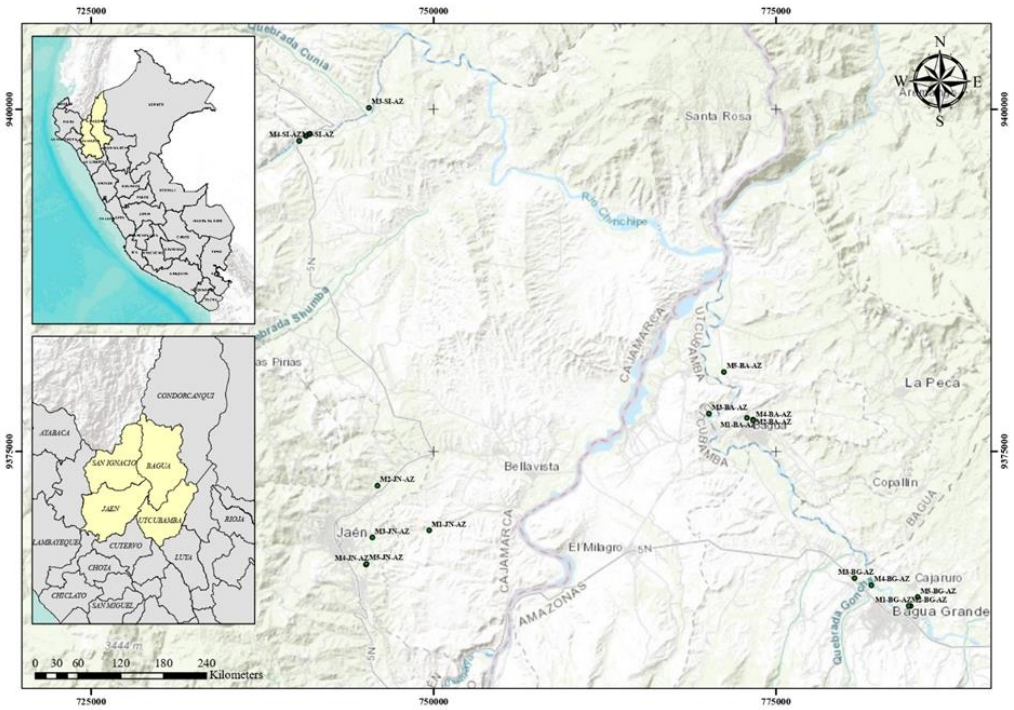
El estudio se realizará en las regiones Amazonas y Cajamarca:

- Amazonas: ubicada en el extremo nororiental del Perú, con una superficie de 39249.13 km² (MIDAGRI, 2016.). En la región Amazonas el 81 % del territorio es selva y el restante es sierra (Gobierno Regional de Amazonas, 2011). Dentro de la región Amazonas se estudiará las provincias de Bagua y Utcubamba.

- Cajamarca: ubicada al norte del Perú, con una superficie de 33318 km² (Oficina de Gestión de la Información y Estadística, 2019). Dentro de la región de Cajamarca se estudiará San Ignacio y Jaén.

- **Figura 1**

  Distribución geográfica de los puntos de muestreo.



2.3. Muestra y Muestreo

2.3.1. Muestra

2.3.1.1. Recolección de muestras de arroz

Se recolectaron 20 muestras de arroz (0.5 kg) de las regiones de Amazonas (Bagua (n=5), Utcubamba (n=5)) y Cajamarca (San Ignacio (n=5) y Jaén (n=5)). Las muestras fueron tomadas directamente del productor primario, para lo cual posteriormente se codificó cada muestra.

2.3.1.2. Recolección de suelo

Se recolectaron 20 muestras de suelos (0.5 kg); estas muestras provienen de las chacras de donde se colectaron las muestras de arroz de las regiones de Amazonas (Bagua (n=5),

Utcubamba (n=5)) y Cajamarca (San Ignacio (n=5) y Jaén (n=5)). Una vez recolectada cada muestra, se codificó.

2.3.2. Muestreo

En este caso se utilizó el muestreo aleatorio; esto se debió a que se eligió el muestreo por conveniencia. De los arrozales se recolectaron 0.5 kg de grano de arroz y 0.5 kg de suelo.

2.4. Variables de estudio

- Concentración de metales pesados en ppm (Cd, Pb y As)
- Nivel de riesgo para la salud
- Nivel de riesgo ecológico

2.5. Métodos

2.5.1. Cuantificación de metales pesados - Espectrometría de emisión atómica de plasma de microondas

Las muestras se analizaron en el Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas (LABISAG) del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja Selva (INDES-CES). En el laboratorio se cuenta con un espectrofotómetro modelo Agilent 4100 MP-AES, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EE.UU. Está equipado con un atomizador Inert One Neb, una linterna estándar y una cámara de pulverización ciclónica de doble vidrio.

Se eligió este método debido a que es uno de los más factibles, debido a que absorbe y emite fluorescencia de radiación electromagnética por partículas atómicas (Instituto de Catálisis y Petroquímica, 2019). Para esta técnica se usa una fuente exterior de alta energía (plasma, llama, arco o chispa), que emite una radiación electromagnética; de esta manera, analiza con gran precisión y exactitud (Instituto de Catálisis y Petroquímica, 2019).

2.5.2. Evaluación de la exposición

Para evaluar la exposición de riesgo a la salud de efectos no cancerígenos nos guiamos de la investigación realizada por Guadalupe et al. (2023) donde determinaron la evaluación de riesgo a través de la siguiente fórmula:

$$EDIxi = \left(mg / kgBw / day\right) = \frac{Cxi\left(\frac{mg}{kg}\right) * IR\left(\frac{kg}{day}\right)}{Bw\left(kgBw\right)}$$

Donde:

$EDIxi$: ingesta diaria estimada de cada metal

$Cxi\left(\frac{mg}{kg}\right)$: Concentración de metales en granos de arroz por región y provincia

$IR\left(\frac{kg}{day}\right)$: Consumo de arroz.

$Bw\left(kgBw\right)$: Peso corporal promedio de personas

Los datos de ingesta diaria se tomaron de la Encuesta Nacional de Presupuesto Familiar, donde se indica que se consume en promedio 0.192 kg de arroz diarios por persona al día (INEI, 2008). En cuanto al índice de masa corporal promedio de las personas según la Encuesta Demográfica y de Salud Familiar nos indica un peso de 64.5 kg (INEI, 2023).

2.5.3. Caracterización de riesgo

Para caracterizar el riesgo de los metales pesados nos guiamos de la investigación hecha por Guadalupe et al. (2023) donde en dicha caracterización se usaron las siguientes fórmulas:

$$HQ_{xi} = \frac{EDIxi}{RfD}$$

Donde:

HQ_{xi} **:** Coeficiente de peligro

$EDIxi$: ingesta diaria estimada de cada metal

RfD : Dosis de referencia

$$HI_x = \sum_{n=1}^{x} HQ_n$$

Donde:

HI_x **:** Índice de peligro

$\sum_{n=1}^{x} HQ_n$: sumatoria de coeficiente de peligro

$$MOE_{xi} = \frac{BMDL_{\%x}}{EDI_{xi}}$$

Donde:

MOE : Procesos de margen de exposición

$BMDL_{\%x}$: límite de confianza inferior para un aumento en el porcentaje de respuesta para cada metal

EDI_{xi} : Exposición Obtenida

$$POE_{xi} = \Pr\left(EDI_{xi} \rangle BMDL_{x}\right) = \int_{BMDL_{\%x}}^{\infty} f\left(E\right) dE$$

Donde:

POE **:** Probabilidad de excedencia

$$CR_{xi} = EDI_{xi} * SF_x$$

Donde:

CR : riesgo de cáncer

2.5.4. Índices únicos de contaminación

Los índices únicos de contaminación nos ayudaron en la evaluación de la contaminación por los elementos químicos en el suelo y sedimentos (Ferreira et al., 2022).

- **Índice de geoacumulación**

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{[X]_{sample}}{1.5 * B_n} \right)$$

Donde:

$[X]_{sample}$**:** contenido de un elemento tóxico en el suelo/sedimento

1.5: factor que compensa el contenido de fondo debido a los efectos litogénicos

B_n: contenido de fondo geoquímico en el esquisto.

- **Factor de enriquecimiento**

$$EF = \frac{\left(C_n / C_m \right)_{sample}}{\left(C_n / C_m \right)_{background}}$$

Donde:

$\left(C_n / C_m \right)_{sample}$: relación entre las concentraciones de fondo del elemento n y el metal de referencia en la muestra del sedimento.

$\left(C_n / C_m \right)_{background}$: relación entre las concentraciones de fondo del elemento n y el metal de referencia.

- **Factor de contaminación**

$$CF = \frac{[X]_{sample}}{[X]_{preindustrial\ concentración}}$$

Donde

$[X]_{sample}$ **:** concentración del elemento en las muestras de suelo o sedimento

$[X]_{preindustrial\ concentración}$ **:** concentración preindustrial del elemento estudiado

- **Índice de contaminación**

$$PI = \frac{[X]_{sample}}{CB}$$

Donde

$[X]_{sample}$: concentración del elemento

CB : fondo del elemento en la región estudiada

- **Factor de contaminación modificado**

$$mC_{\deg} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} CF_i$$

Donde:

n: número de elementos evaluados

CF: contaminante de cada elemento

2.5.5. Riesgo ecológico

Al realizar el análisis de riesgo en suelos se determinó la contaminación por elementos químicos en el suelo y sedimentos. En este caso los resultados obtenidos nos sirven para investigar delitos ambientales u otras cuestiones de importancia ambiental (Ferreira et al., 2022). Para ello se utilizarán las siguientes formulas:

- **Factor de riesgo ecológico**

$$E_r^i = T_r^i x CF^i$$

Donde:

T: factor de respuesta tóxica de un elemento químico contaminante

CF: factor de contaminación de este elemento

- **Índice de riesgo ecológico potencial**

$$PERI = \sum ER$$

Donde:

$\sum ER$: suma de riesgos ecológicos

2.6. Técnicas y procedimientos

2.6.1. Muestras en campo

Las 20 muestras de arroz se recolectaron de los mismos arrozales en la región de Amazonas (Bagua y Utcubamba) y la región de Cajamarca (San Ignacio y Jaén). Así mismo, las 20 muestras de suelo se recogieron de los mismos arrozales en la región de Amazonas (Bagua y Utcubamba) y la región de Cajamarca (San Ignacio y Jaén).

2.6.2. Procedimiento de recolección de muestras

La recolección de muestras de arroz y suelo se llevó a cabo en dos fases. La primera fase se realizó en la región Amazonas, donde se recolectaron directamente de los productores. La segunda fase se llevó a cabo un mes después en la región de Cajamarca, siguiendo el mismo procedimiento de recolección para ambas regiones. En ambas fases, se aplicaron estrictos procedimientos para asegurar que las muestras se mantengan libres de contaminación.

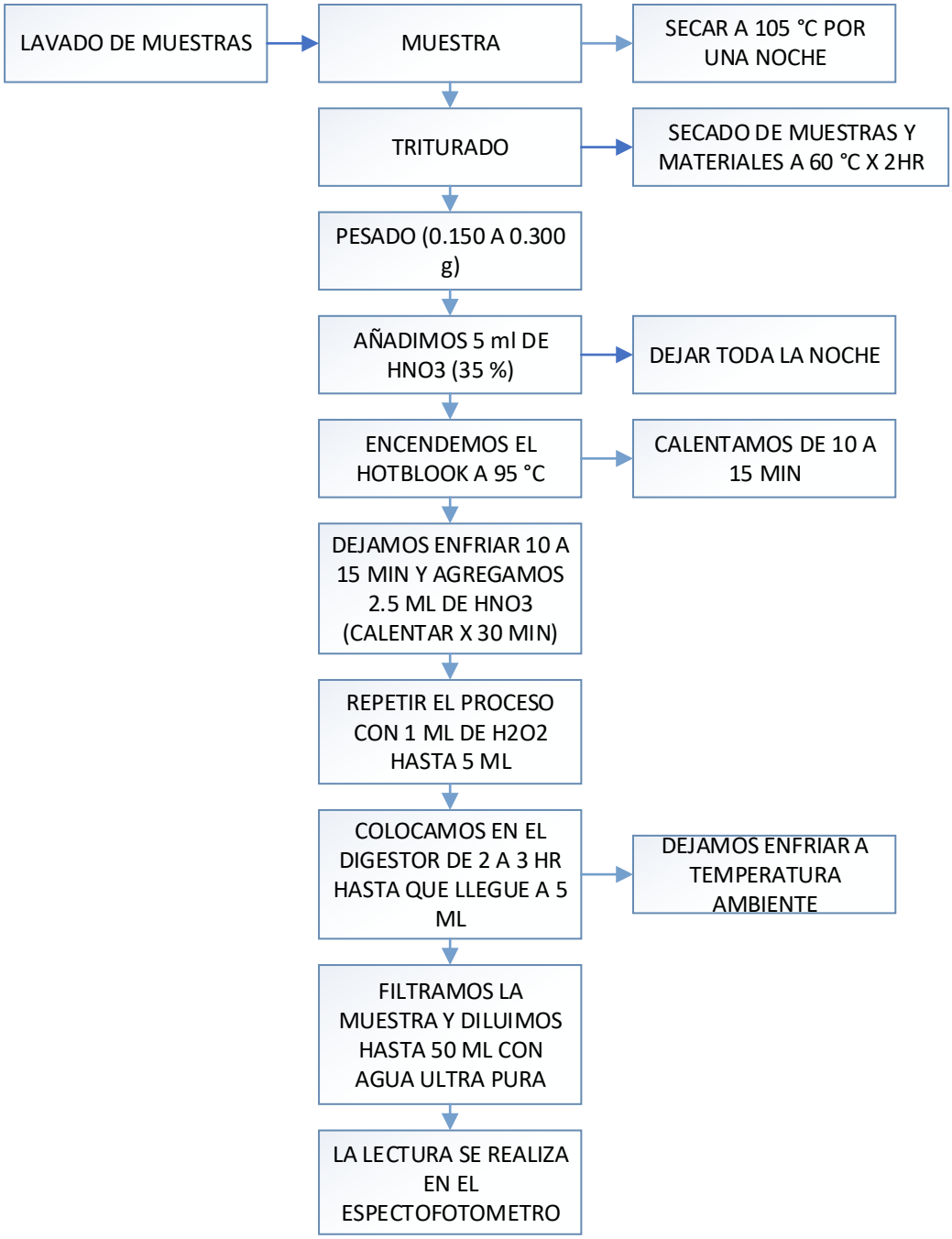
2.6.3. Cuantificación de metales pesados para vegetales

Para llevar a cabo el procesamiento de las muestras en LABISAG del INDES-CES se tuvo en cuenta el método Multielement Plant Tissue Analysis Using ICP Spectometry. El cual se usa para determinar la presencia de metales pesados en tejido vegetal, siguiendo el siguiente procedimiento:

- Enjuagamos el material con agua ultra pura para eliminar contaminación de polvo.
- Secamos la muestra a 105 °C durante toda la noche y molemos lo más fino posible.
- Antes del pesado de las muestras, se realiza el secado de las muestras y materiales por 2 h a 60 °C.
- Pesamos entre 0.150 a 0.300 g de muestra y agregamos al tubo de digestión.
- Agregamos 5 ml de HNO3 al 35% y se deja tapado durante una noche.
- Encendemos el digestor y programamos la temperatura de 95 ±1 °C, cuando ya haya llegado a la temperatura se coloca los tubos de digestión.
- Calentamos la muestra durante 10 a 15 min, teniendo en cuenta que la muestra no llegue a hervir.
- Dejamos enfriar durante 10 a 15 minutos y luego agregamos 2.5 ml de HNO3 concentrado y calentamos nuevamente a 95 ±1 °C por media hora.
- Dejamos enfriar 10 a 15 minutos y agregar 1.5 ml de agua oxigenada al 30% y colocamos al digestor.
- Cuando haya terminado la efervescencia, nuevamente agregamos agua oxigenada pero esta vez 1 ml (Repetir este proceso hasta que cese la efervescencia o hasta llegar a 5 ml).
- Colocamos las rejillas al digestor y dejamos que se evapore hasta que queden 5 ml de la solución, este proceso puede durar de 1 a 3 horas.
- Al finalizar la digestión dejamos enfriar las muestras hasta temperatura ambiente.
- Filtramos la muestra con papel filtro N° 43 y luego enrazamos en un frasco de 50 ml.
- Finalmente leemos en el espectrofotómetro.

Figura 2

Metodología para la determinación de metales pesados en granos de arroz.



2.6.4. Cuantificación de metales pesados para suelos

Para llevar a cabo el procesamiento de las muestras en LABISAG del INDES-CES se tuvo en cuenta el método EPA 3050B: digestión con hotblock. El cual se usa para determinar la presencia de metales pesados en suelos, siguiendo el siguiente procedimiento:

- Secamos las muestras a 40 °C por unos días hasta que desaparezca la humedad del suelo, después trituramos y pesamos 0.5 g a 1 g.

- En la cámara colocamos el digestor y encendemos, esperamos hasta que el digestor llegue a los 95±5 °C y colocamos los tubos en las rejillas.

- Añadimos 5 ml de HNO3 (1+1) con agua ultra pura y cubrimos con lunas de reloj acanaladas, para luego calentar la muestra en un Hotblock durante 15 min sin que llegue a hervir.

- Retiramos la rejilla con los tubos y dejamos enfriar por 10 min, sin apagar el Hotblook.

- Añadimos 2.5 ml de HNO3 y nuevamente calentamos la muestra en un Hotblock a 95 °C durante 30 min.

- Pasado el tiempo, retirar y añadir 0.5 ml de HNO3, repetir el proceso durante 30 min hasta que deje de desprender gases marrones.

- Una vez pasado el proceso colocamos las rejillas en el digestor por un promedio de 2 horas hasta que llegue a 5 ml, para posteriormente dejar enfriar por un promedio de 15 min.

- Añadimos 1 ml de agua destilada y 1.5 ml de agua oxigenada (30%). Se espera de 5 a 10 min hasta que las muestras dejen de efervecer. Luego tapamos y colocamos en el Hotblock. Si empieza a producir efervescencia retirar del Hotblock (reducir la temperatura hasta 10 °C).

- Continuar añadiendo agua oxigenada hasta que cese la efervescencia o hasta que se haya añadido 5 ml.

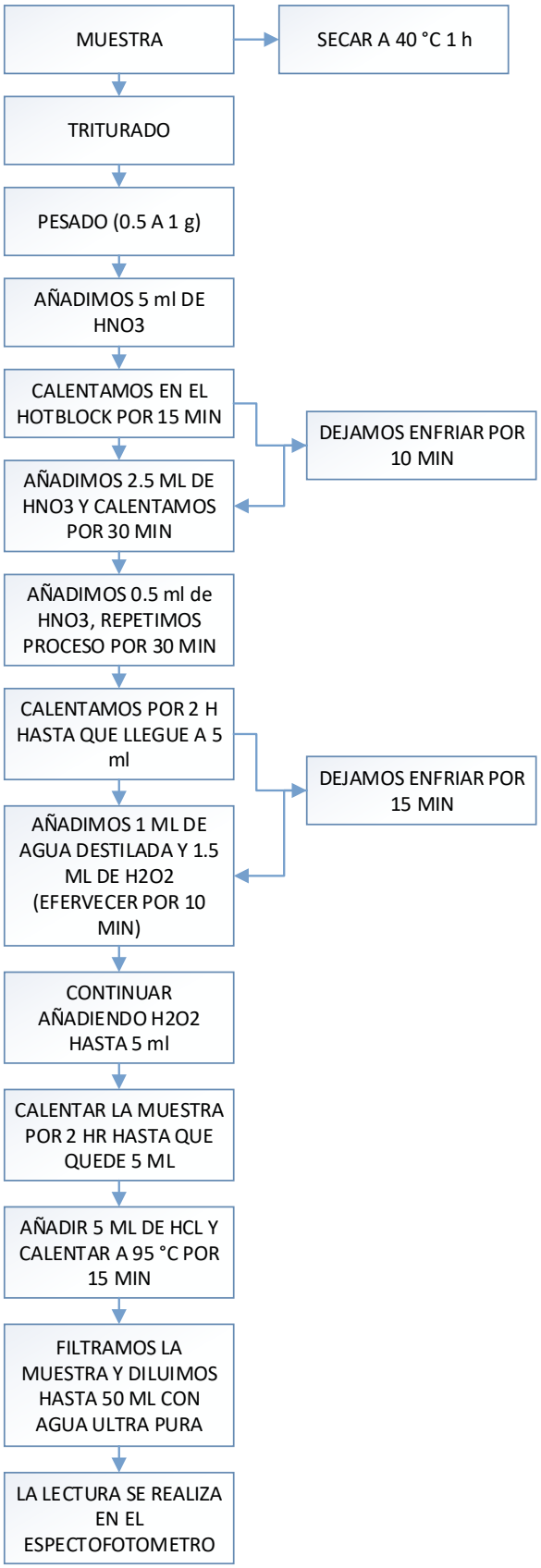
- Continuar calentando la muestra hasta que quede 5 ml por un total de 2 horas.

- Luego añadimos 5 ml de HCl concentrado a cada muestra y cubrir y llevar al Hotblock a 95 °C por un promedio de 15 min.

- Finalmente enfriamos la muestra y diluimos hasta 50 ml de agua ultra pura, filtramos con papel filtro N°43. Pasamos a leer en el espectrofotómetro.

Figura 3

Metodología para la determinación de metales pesados en suelos.



2.7. Análisis de datos

Para evaluar el efecto de la ubicación geográfica sobre las concentraciones de metales pesados, se aplicó un análisis multifactorial de varianza (MANOVA) y la prueba de Tukey para comparación de medias, utilizando el software SPSS versión 25 (Chicago, Illinois, EE. UU.). El análisis estadístico se llevó a cabo considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$. Por otro lado, la caracterización del riesgo se desarrolló mediante un enfoque probabilístico con el software @Risk versión 8 (Palisade, Newfield, NY, EE. UU.), empleando simulación de Monte Carlo combinada con muestreo latino hipercubo. Para cada métrica evaluada, se realizaron 10 simulaciones, cada una con 100 000 iteraciones.

III. RESULTADOS

3.1. Concentración de metales

La tabla 1 presenta las concentraciones obtenidas de los metales analizados en las muestras de suelo y arroz. Asimismo, se reportan los resultados del análisis multifactorial (MANOVA), incluyendo el valor del estadístico F y las diferencias significativas observadas entre provincias.

Tabla 1

Concentración de metales pesados en suelos y en granos de arroz medidos en mg/kg

Muestra	**Amazonas**				**Cajamarca**				**MANOVA**
Metal	**Bagua**		**Utcubamba**		**Jaen**		**San Ignacio**		**F ratio**
mg/kg	**Media ± D.E.**	**Min-Max**	**Media ± D.E.**	**Min-Max**	**Media ± D.E.**	**Min-Max**	**Media ± D.E.**	**Min-Max**	
Soil									
As	28.220±1.542^{b}	26.390-30.600	28.278±6.060^{b}	20.230-35.330	39.944±5.883^{a}	32.870-46.680	40.874±1.884^{a}	38.700-43.830	12.79***
Cd	0.441±0.100^{a}	<0.005-0.578	1.400±1.339^{a}	<0.005-3.020	1.358±0.889^{a}	<0.005-2.395	1.546±0.320^{a}	<0.005-1.985	0.174 ns
Pb	9.170±3.750^{c}	4.660-14.620	13.332±8.145^{bc}	5.560-23.630	22.890±6.385^{ab}	12.320-28.160	26.334±1.910^{a}	24.050-28.380	10.31***
Rice									
As	0.443±0.094	0.308 - 0.548	0.359±0.048	0.305-0.436	0.336±0.091	0.191-0.433	0.390±0.102	0.232-0.494	1.44ns
Cd	<0.005	-	<0.005	-	<0.005	-	<0.005	-	-
Pb	0.285±0.045	0.237 - 0.338	0.270±0.019	0.251-0.297	0.283±0.063	0.222-0.366	0.234±0.030	0.186-0.269	1.53ns

3.1.1. Concentración de metales en suelo

De acuerdo con la Tabla 1, de los tres metales evaluados se puede apreciar que la mayor concentración es de As y Pb. De estos metales, la mayor presencia la encontramos en las provincias de Jaén (As = 32.870 mg/kg– 46.680 mg/kg y Pb = 12.320 mg/kg– 28.160 mg/kg) y San Ignacio (As = 38.700 mg/kg – 43.830 mg/kg y Pb = 24.050 mg/kg – 28.380 mg/kg). En la región de Amazonas, se aprecia que la concentración de estos metales es menor. Asimismo, se puede apreciar que la presencia de Cd en suelos en las provincias evaluadas es <0.005 con una oscilación máxima de 3.020 mg/kg, por lo que se puede mencionar que su presencia es mínima.

3.1.2. Concentración de metales en granos de arroz

En la Tabla 1, se aprecia que existe una mínima concentración de Cd (<0.005) en granos de arroz para las cuatro provincias. Asimismo, la mayor concentración de As en granos de arroz se encuentra en Bagua (0.308 mg/kg – 0.548 mg/kg) y San Ignacio (0.232 mg/kg – 0.494 mg/kg). Para Pb se puede observar que su mayor concentración se encuentra en Bagua (0.237 mg/kg – 0.338 mg/kg) y Jaén (0.222 mg/kg – 0.366 mg/kg).

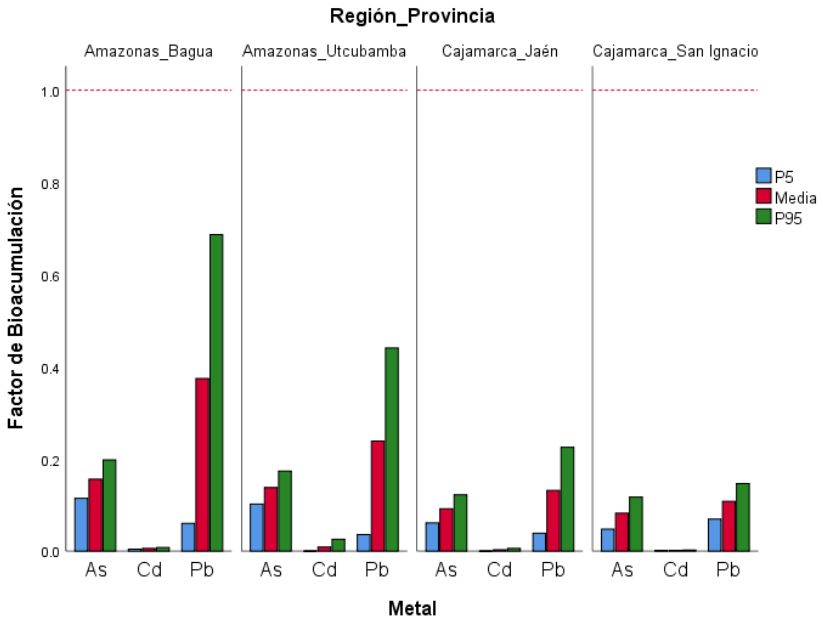
3.2. Riesgo Ecológico

3.2.1. Bioacumulación

En la bioacumulación de metales pesados en las regiones de Amazonas y Cajamarca se muestran valores menores a 1 (Figura 4), en el siguiente orden Pb (0.374) > As (0.156) > Cd (0.008), lo que puede indicar que existe una baja bioacumulación de metales en los suelos. Respecto a los 3 metales evaluados, se observa que la mayor bioacumulación de Pb se encuentra en la provincia de Bagua, respecto a las demás áreas de estudio. Asimismo, se puede observar que los niveles de Cd son cercanos a cero en las 2 regiones.

Figura 4

Percentiles medio, 5 (P5) y 95 (P95) del factor de bioacumulación (BAF) por región y provincia de producción.

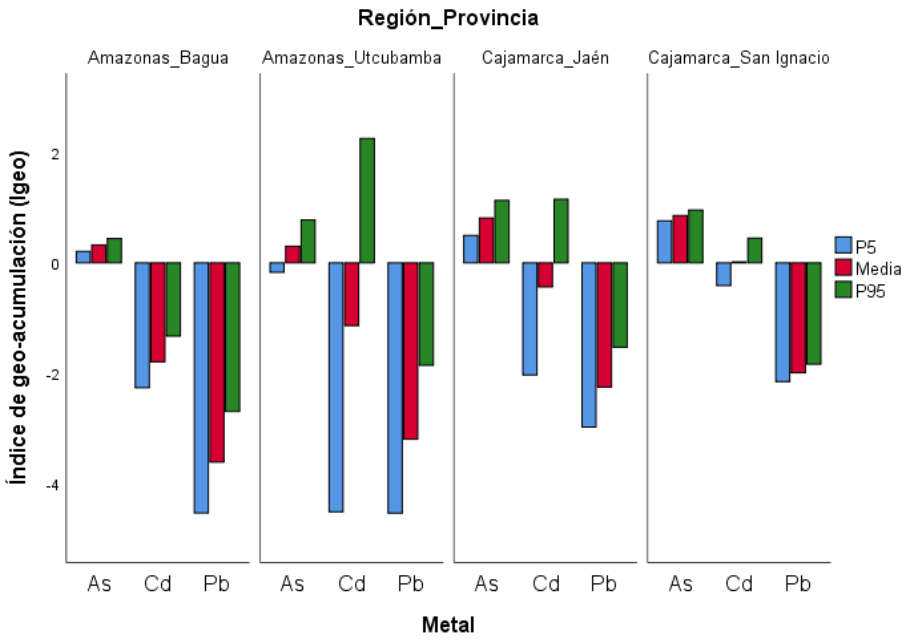


3.2.2. Índice de geo-acumulación

Al realizar el índice de geoacumulación, se pueden observar en la figura 5 las diferencias significativas en las 2 regiones. De acuerdo con la clasificación establecida, se realizó desde la no contaminación hasta la contaminación extrema. Teniendo así lo siguiente: As (0.860)> Cd (-1.797)> Pb (-3.620) (figura 5). En la región Amazonas, se observa que la mayor presencia es de As, ya que se encuentra en una escala de no contaminado a moderado, mientras que el Cd y Pb se mantienen en valores de no contaminado. En cambio, en la región Cajamarca, se observa que en Jaén se tiene la mayor presencia de As; se clasifica en moderadamente contaminado, mientras que los metales como Cd y Pb no indican índices de contaminación.

Figura 5

Percentiles medio, 5 (P5), y 95 (P95) del índice de geo-acumulación (Igeo) por región y provincia de producción.



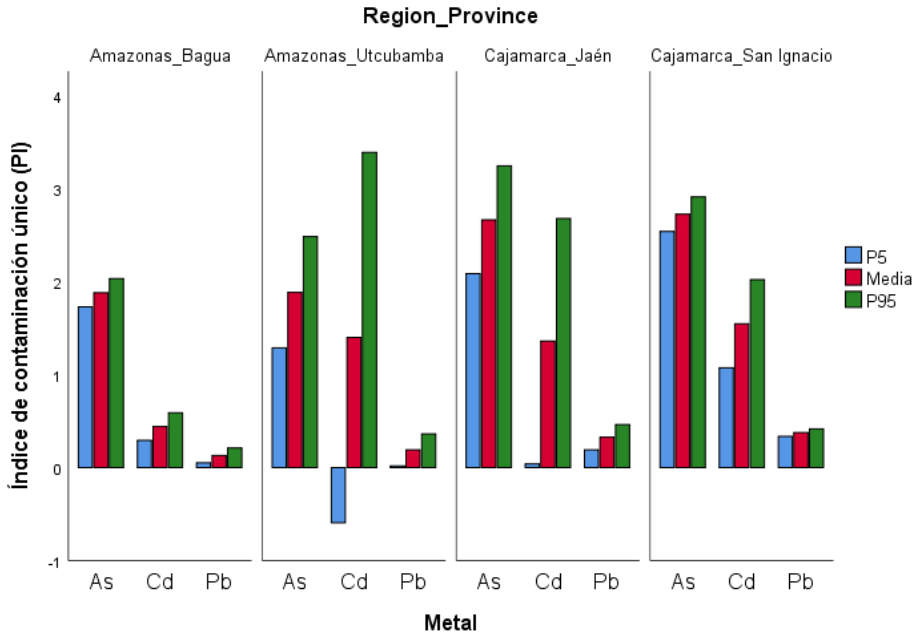
3.2.3. Índice de contaminación único

Al realizar el análisis del índice de contaminación único, se evidenciaron diferencias de acuerdo a las provincias evaluadas y al metal estudiado. Sin embargo, se ha clasificado de la siguiente manera: As (2.724) > Cd (1.547) > Pb (0.376) (Figura 6). En la provincia de Bagua se encontró un PI con valores bajos tanto para Cd como para Pb (PI < 1), mientras que para As los valores estuvieron en torno a 2. En la provincia de Utcubamba

se encontraron valores en torno a los 3 para Cd, mientras que para As con un valor cercano a 1.5, mientras que el Pb no tuvo diferencia significativa. En cambio, para Jaén y San Ignacio los valores de As y Cd tuvieron índices cercanos a 3 y 2, respectivamente, mientras que el Pb se mantuvo en rangos cercanos a cero.

Figura 6

Percentiles medio, 5 (P5) y 95 (P95) del índice de contaminación único (PI) por región y provincia de producción.

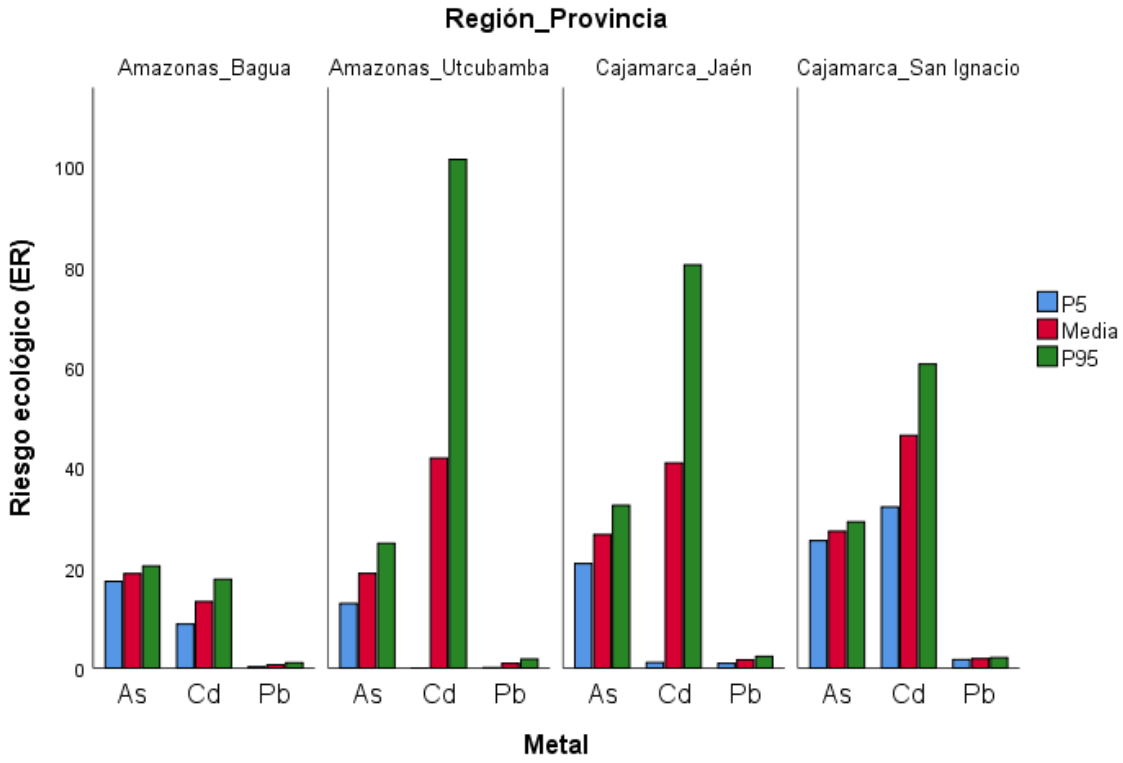


3.2.4. Riesgo ecológico

El riego Ecológico se presentó en el siguiente orden Cd (46.373) > As (27.253) > Pb (1.881) (Figura 7). Se muestras que el Cd y el As presentan mayor riesgo ecológico en las 2 regiones, mientras que el Pb presenta valores bajos. Si colocamos a niveles de media y percentil 95, se puede hacer referencia que los niveles de Cd serían más dañinos para Utcubamba y Jaén. Sin embargo, la región que mayor riesgo ecológico presenta es la región de Cajamarca.

Figura 7

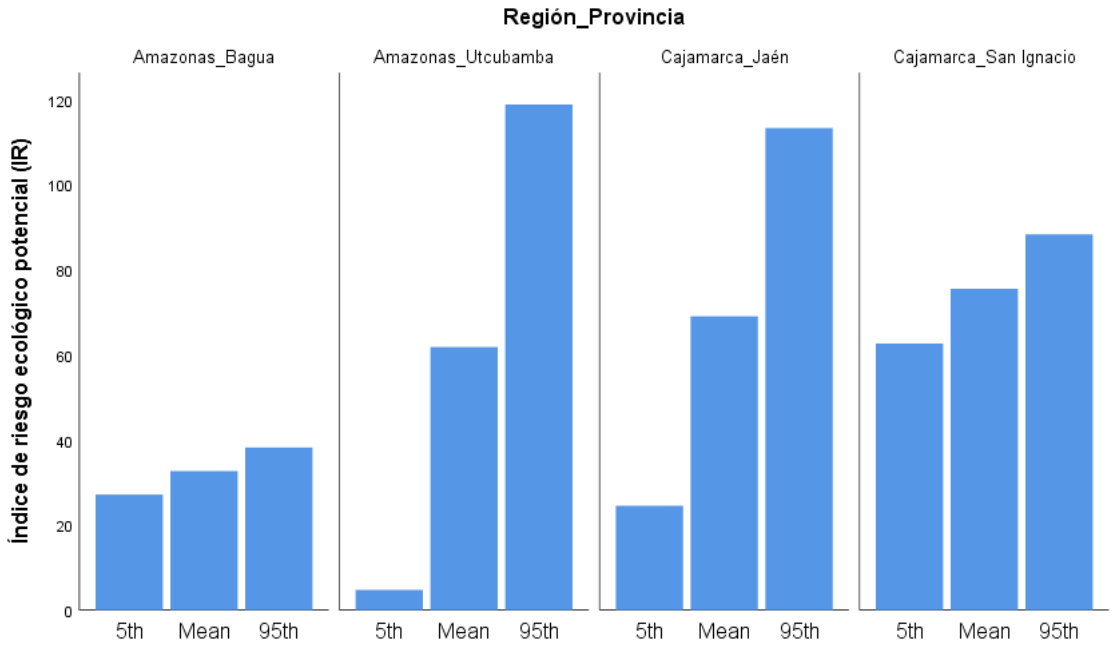
Percentiles medio, 5 (P5) y 95 (P95) del riesgo ecológico (ER) por región y provincia de producción.



Al realizar el análisis del índice de potencial de riesgo ecológico se observa el siguiente orden As > Cd > Pb (figura 8). Se observa que el mayor riesgo de contaminación por Arsénico se encuentra en la región de Cajamarca, lo que indica una toxicidad alta. Por otro lado, el metal con menos potencial en las dos regiones es el Pb, lo que indicaría una baja toxicidad. Así mismo, para Cd encontramos que los valores con mayor probabilidad a riesgo se encuentran en Utcubamba y Jaén.

Figura 8

Percentiles medio, 5 (P5) y 95 (P95) del índice de riesgo ecológico potencial (IR) por región y provincia de producción.



3.3. Riesgo para la salud

3.3.1. Ingesta diaria estimada

A continuación, se presenta la tabla 2 de ingesta diaria estimada para el consumo de metales pesados en arroz, para las regiones de Amazonas y Cajamarca. Se evaluó que los consumos diarios de metales en promedio para As son de 5.29E-04 a 7.06E-04, para Cd son de 7.82E-06 a 7.90E-06 y para Pb son de 8.56E-04 a 9.01E-04. Si observamos, la mayor exposición se refleja en Bagua, ya que a mayor percentil de la muestra se refleja que los consumidores en promedio ingesta el triple del valor promedio (1.54E-03), por lo que se tiene una exposición considerable. Mientras que, para Cd la exposición para las dos regiones la diferencia es mínima, siendo la exposición máxima el doble de la media. Para Pb también se tiene una diferencia mínima en cuanto a exposición de metales pesados, siendo los valores máximos dos veces el promedio. Haciendo una comparativa de los tres metales, se puede decir que As y Pb tienen los valores más preocupantes en cuanto a riesgo para la salud, especialmente para la región Amazonas, específicamente en Bagua.

Tabla 2

Ingesta diaria estimada (EDI).

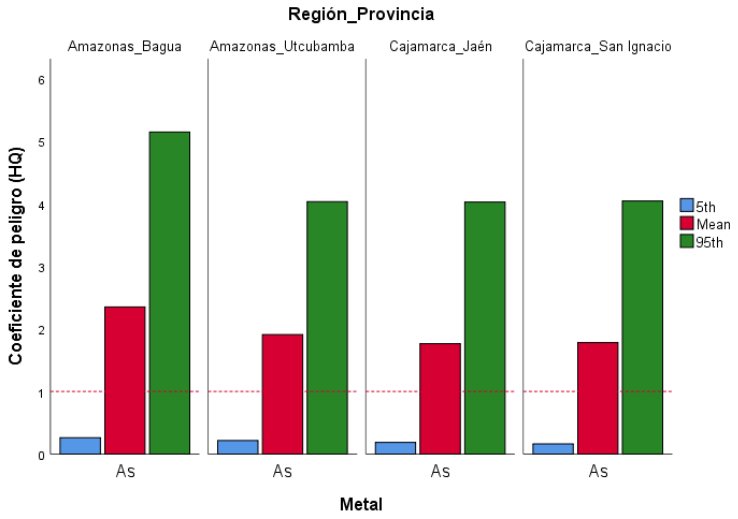
Metal	Región_Provincia	Media	D.E.	P5	P95
As	Amazonas_Bagua	7.06E-04	4.69E-04	7.87E-05	1.54E-03
	Amazonas_Utcubamba	5.73E-04	3.59E-04	6.48E-05	1.21E-03
	Cajamarca_Jaén	5.29E-04	3.57E-04	5.58E-05	1.21E-03
	Cajamarca_San Ignacio	5.34E-04	3.64E-04	4.86E-05	1.21E-03
Cd	Amazonas_Bagua	7.90E-06	4.87E-06	9.11E-07	1.64E-05
	Amazonas_Utcubamba	7.92E-06	4.85E-06	9.06E-07	1.65E-05
	Cajamarca_Jaén	7.82E-06	4.69E-06	9.39E-07	1.63E-05
	Cajamarca_San Ignacio	7.84E-06	4.78E-06	7.69E-07	1.63E-05
Pb	Amazonas_Bagua	9.01E-04	5.77E-04	1.03E-04	1.91E-03
	Amazonas_Utcubamba	8.56E-04	5.28E-04	9.84E-05	1.80E-03
	Cajamarca_Jaén	8.84E-04	5.79E-04	9.61E-05	1.98E-03
	Cajamarca_San Ignacio	8.92E-04	5.98E-04	8.63E-05	1.98E-03

3.3.2. Coeficiente de peligrosidad

En los resultados obtenidos para As en la Figura 9 se observa que los valores en las 4 provincias superan el límite de exposición a riesgo cancerígeno en cuanto a la media y el percentil 95th. Siendo Bagua la provincia con mayor riesgo, ya que su percentil 95 supera cinco veces más el nivel de riesgo aceptable (5.15). Asimismo, el promedio supera el valor significativo en 2.35. Para las provincias de Utcubamba, Jaén y San Ignacio, para el percentil 95 y su promedio, se tienen valores de 4.03, 4.03 y 4.04, 1.20, 1.19 y 1.21, respectivamente, por lo que no existe mucha diferencia en los valores de las provincias. De todo ello se estima que las personas que menos consumen arroz están en un rango seguro, pero mientras que las personas que más consumen arroz están expuestas a un riesgo significativo en las 4 provincias.

Figura 9

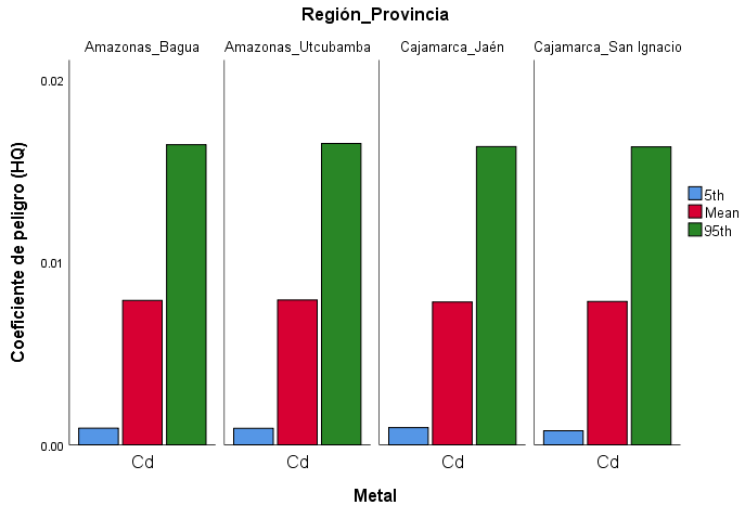
Coeficiente de Peligro para Arsénico.



Se tiene en cuenta que, en los resultados de la figura 10, el coeficiente de peligro para Cd en las 4 provincias no supera el umbral de riesgo significativo, es decir, está muy por debajo de 1. Por lo que no representa un riesgo no cancerígeno significativo en ninguno de los escenarios propuestos. Puesto que los valores para un percentil de 5 se encuentran entre 0.0007 y 0.0009, para la media entre valores 0.0078 y 0.0079 y para el percentil 95 en valores 0.0163 y 0.0164. Si bien es cierto que los valores no superan el umbral, hay que recordar que el Cd es un metal acumulativo, por lo que a largo plazo podría tener efectos en la salud.

Figura 10

Coeficiente de peligro para cadmio.

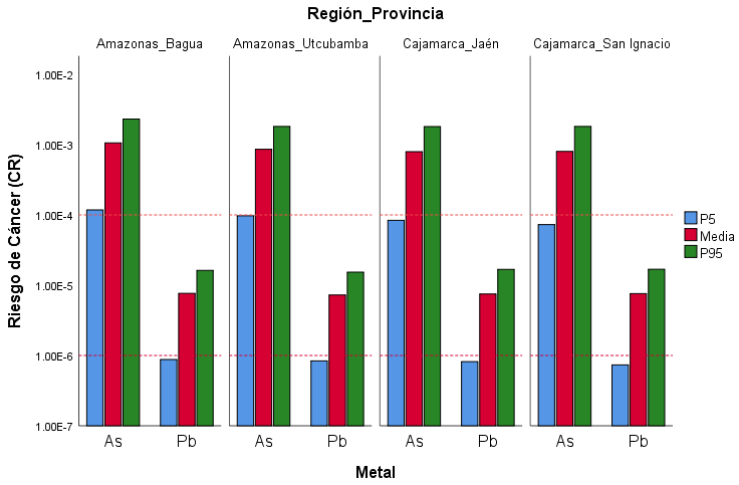


3.3.3. Riesgo de cáncer

Haciendo una comparativa de riesgo de cáncer para As y Pb en la Figura 11, se obtienen los siguientes valores: los menores a 1.00 E-6 representan un valor bajo de probabilidad de cáncer; los valores entre 1.00 E-6 y 1.00 E-4 representan una probabilidad de tener cáncer medio. Mientras que valores superiores a 1.00E-4 representan la mayor probabilidad de sufrir esta enfermedad. Es así: para el caso de Pb, se observa que el percentil 5 representa un valor mínimo para contraer cáncer, mientras que el promedio y el percentil 95 representan un valor medio para contraer cáncer. Asimismo, encontramos que el percentil 5 tiene un valor medio para contraer cáncer, mientras que la media y el percentil 95 están con mayor probabilidad de contraer cáncer mientras mayor sea la ingesta de As en la dieta.

Figura 11

Riesgo de cáncer para arsénico y plomo



IV. DISCUSIÓN

Los análisis de metales pesados en suelos arroceros de las regiones Amazonas y Cajamarca evidenciaron que las mayores concentraciones de As, Pb y Cd se localizaron en San Ignacio, con valores de 40.874 mg/kg, 26.334 mg/kg y 1.456 mg/kg, respectivamente. Al comparar estos resultados con los Estándares de Calidad Ambiental para suelos en el Perú (MIMAN, 2017), se observa que As y Pb se encuentran dentro de los límites permisibles (50 mg/kg y 70 mg/kg, respectivamente), mientras que Cd supera el valor máximo establecido para suelos agrícolas (1.4 mg/kg), lo que representa un riesgo potencial.

Asimismo, tomando como referencia el estudio de He et al. (2015), se realizó una comparación con normativas internacionales de Australia, Canadá, China, Alemania, Tanzania, Países Bajos, Nueva Zelanda, Reino Unido y EE. UU. En este análisis, Cd no cumple únicamente con los estándares de China (0.3–0.5 mg/kg) y EE. UU. (0.48 mg/kg). Por otro lado, As se ajusta solo a los límites de Alemania (50 mg/kg), Países Bajos (76 mg/kg) y Reino Unido (43 mg/kg). En el caso del Pb, todas las normativas internacionales establecen límites superiores a 80 mg/kg, por lo que no representaría un incumplimiento. Estos resultados sugieren que la contaminación por metales pesados en los suelos evaluados es de nivel moderado.

En países asiáticos se han reportado concentraciones similares en sistemas suelo–arroz. En Fujian, China, (Z. Kang et al., 2020) reportaron valores de As entre 9.22–69.44 mg/kg, mientras que en Singhbhum, India, se registraron concentraciones significativamente más altas (31.2–182.5 mg/kg; Giri & Singh, 2017). En cuanto a Cd, Vasudhevan et al. (2025) informaron valores entre 0.05–0.20 mg/kg en Salem (India), y Giri & Singh (2017), reportaron un rango de 0.08–0.84 mg/kg en Singhbhum. Para Pb, Lu et al. (2018) encontraron concentraciones entre 22,3 y 24,8 mg/kg en suelos de Fujian, China. Estos hallazgos confirman que los valores observados en nuestro estudio son comparables con los reportados en otras regiones arroceras del mundo.

En lo referente a los granos de arroz, la acumulación de metales pesados ocurre principalmente a través de la absorción radicular y su posterior transporte por el xilema y floema hasta el grano (Zou et al., 2023). En este estudio se determinó que las mayores concentraciones de As y Pb en el grano corresponden a Bagua, con valores de 0.443 mg/kg y 0.285 mg/kg, respectivamente. En el caso de Cd, todas las provincias presentaron

concentraciones <0.005 mg/kg. Según el CODEX STAN 193 (1995), los valores máximos permitidos son 0.1 mg/kg para Cd, 0.2 mg/kg para Pb y 0.1 mg/kg para As, lo que indica que los niveles de As y Pb en los granos exceden los límites, mientras que Cd se encuentra por debajo.

Comparando con estudios internacionales, Singh et al. (2011) reportaron 0.014 mg/kg de Cd en granos de arroz en Uttar Pradesh, India, valor cercano al de nuestro estudio. En cuanto a As, Zhang et al. (2020) y Zang et al. (2021) reportaron concentraciones de 0.031–0.440 mg/kg y 0.129–0.434 mg/kg, respectivamente, en Hainan (China), coincidiendo con nuestros resultados. Respecto al Pb, Setia et al. (2021) registraron valores mucho más elevados en Punjab, India (14.6–28.4 mg/kg), lo que evidencia una mayor acumulación en esa región.

Mientras que el factor de bioacumulación (BAF) obtenido en este estudio fue <1 para los tres metales, lo que indica una baja transferencia del suelo al grano. Esta condición puede estar influenciada por las prácticas agrícolas, el uso de fertilizantes y pesticidas, así como por actividades antrópicas locales Chen et al. (2024). Sin embargo, comparando con Xiao et al. (2019), quienes reportaron valores de bioacumulación mucho más altos (Pb: 10.05; As: 9.17), se observa una diferencia significativa que refuerza la necesidad de estudios adicionales sobre la dinámica de acumulación de metales en suelos arroceros.

Para el índice de geoacumulación (Igeo) encontramos que los valores de Cd y Pb no representan valores contaminantes, mientras que el As se encuentra en escala de no contaminado a moderado. Al hacer una comparativa con estudios, se han encontrado valores; se puede encontrar lo siguiente: Cd (0.5) > Pb (-2.01) (Vasudhevan et al., 2025), por lo que se puede indicar que la contaminación se puede derivar de las condiciones antropogénicas, es decir, uso de fertilizantes y pesticidas, así como también las prácticas agrícolas (Guadalupe et al., 2024).

Asimismo, se calcularon los índices de riesgo ecológico, donde nuestro estudio encontró que el Cd y el As presentan mayor riesgo ecológico para las 2 regiones, por lo que podría impactar en los ecosistemas y comunidades locales (Guadalupe et al., 2024). Los resultados obtenidos en el estudio concuerdan con otros estudios realizados, como Vasudhevan et al. (2025), donde los valores de Cd, As y Pb se encuentran en un promedio de 44.3 – 105.1. Asimismo, Mahmud et al. (2021) encontraron valores de 134.18-157.77 y 9.17-20.90 para As y Cd, respectivamente, por lo que se puede determinar que estos

valores plantearían futuros riesgos para la salud. Asimismo, en otros estudios se ha indicado que As y Cd son los principales contaminantes que representarían una amenaza para la salud (Guadalupe et al., 2024).

Por último, se ha observado en el estudio que el riesgo de contraer cáncer es mayor para As, poniendo en casos extremos, mientras que el Pb representa valores medios de contraer cáncer. Zhang et al. (2020) nos mencionan en su estudio que los valores de cáncer tanto para As como para Pb son menores a $1{,}0 \times 10\text{-}4$, rangos muy similares a nuestros estudios. Esto nos indica que los metales estudiados, a menos que se sometan a medidas extremas, no representan un riesgo para la salud.

V. CONCLUSIONES

- Se encontró que los valores de metales pesados tanto en suelo como en los granos de arroz siguen un orden descendente: As > Pb > Cd. Donde en las 2 regiones no se encuentran diferencias significativas mínimas, pero a su vez contribuirían un factor de riesgo a futuro, por lo cual sería necesario establecer medidas de control y monitoreo continuo.
- El consumo habitual de arroz en la dieta de la población expone a los consumidores a niveles acumulativos de metales pesados, siendo los grupos más vulnerables aquellas personas que más consumo diario de arroz tienen; de los tres metales, As y Pb tienen más riesgo para la salud en la provincia de Bagua.
- Las estimaciones realizadas para determinar el riesgo ecológico indicaron que, de los tres metales pesados evaluados, el As y Pb representan un riesgo mayor. Estos contaminantes podrían afectar al ecosistema agrícola, por lo cual se deberían tomar acciones de mitigación.
- La evaluación de riesgo indica que, en escenarios de consumo promedio, el riesgo de contraer cáncer por el As tiende a sobrepasar los valores estimados, lo cual podría implicar efectos adversos en la salud. En cambio, el Pb, si bien en las provincias no excedió los límites críticos, se puede indicar que sí representa un riesgo potencial a largo plazo por su capacidad de bioacumulación.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Al-Saleh, I., & Abduljabbar, M. (2017). Heavy metals (lead, cadmium, methylmercury, arsenic) in commonly imported rice grains (Oryza sativa) sold in Saudi Arabia and their potential health risk. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, *220*(7), 1168–1178. https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2017.07.007

Beltrán Pineda, E., & Gómez Rodriguez, M. (2015). *Vista de Metales pesados (Cd, Cr y Hg): su impacto en el ambiente y posibles estrategias biotecnológicas para su remediación*. https://revistasdigitales.uniboyaca.edu.co/index.php/reiv3/article/view/113/111

Bernardi, L. A. (2018). *PERFIL DEL MERCADO DE ARROZ (Oryza sativa)*.

Chen, R., Hu, M., Cheng, N., Shi, R., Ma, T., Wang, W., & Huang, W. (2024). Prediction of the bioaccessibility and accumulation of cadmium in the soil-rice-human system based on optimized DGT and BCR coupled models. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *280*. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116509

CODEX STAN 193 - 1995. (1995). *NORMA GENERAL DEL CODEX PARA LOS CONTAMINANTES Y LAS TOXINAS PRESENTES EN LOS ALIMENTOS Y PIENSOS*.

Cuadra Charme. (1981). *Metodología de la investigación evaluativa de políticas de población*.

Dunia, M., & Heredia, R. (2017). ARTÍCULO DE REVISIÓN Intoxicación ocupacional por metales pesados Occupational poisoning due to heavy metals. *MEDISAN*, *21*(12), 3372.

Dzul Escamila. (2013). *¿QUÉ ES EL DISEÑO NO EXPERIMENTAL?*

Ferreira, S. L. C., da Silva, J. B., dos Santos, I. F., de Oliveira, O. M. C., Cerda, V., & Queiroz, A. F. S. (2022). Use of pollution indices and ecological risk in the assessment of contamination from chemical elements in soils and sediments –

Practical aspects. In *Trends in Environmental Analytical Chemistry* (Vol. 35). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.teac.2022.e00169

Fu, H., Yu, H., Li, T., & Zhang, X. (2018). Influence of cadmium stress on root exudates of high cadmium accumulating rice line (Oryza sativa L.). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *150*, 168–175. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.12.014

Giri, S., & Singh, A. K. (2017). Human health risk assessment due to dietary intake of heavy metals through rice in the mining areas of Singhbhum Copper Belt, India. *Environmental Science and Pollution Research*, *24*(17), 14945–14956. https://doi.org/10.1007/s11356-017-9039-9

Gobierno Reginal de Amazonas. (2011). *Plan Estratégico Regional Agrario de la Región Amazonas*.

Guadalupe, G. A., Chavez, S. G., Arellanos, E., & Doménech, E. (2023). Probabilistic Risk Characterization of Heavy Metals in Peruvian Coffee: Implications of Variety, Region and Processing. *Foods*, *12*(17). https://doi.org/10.3390/foods12173254

Guadalupe, G. A., García, L., Chavez, S. G., & Doménech, E. (2024). Ecological and Health Risk Assessment of Metals in Organic and Conventional Peruvian Coffee from a Probabilistic Approach. *Agronomy*, *14*(12). https://doi.org/10.3390/agronomy14122817

He, Z., Shentu, Yang, X., Baligar, V. C., Zhang, T., & Stoffella, &. (2015). Soil pollution in the world (EEC. In *Journal of Environmental Indicators* (Vol. 9). USEPA. http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators

Hu, B., Shao, S., Fu, Z., Li, Y., Ni, H., Chen, S., Zhou, Y., Jin, B., & Shi, Z. (2019). Identifying heavy metal pollution hot spots in soil-rice systems: A case study in South of Yangtze River Delta, China. *Science of the Total Environment*, *658*, 614–625. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.150

INEI. (2008). *Perú: Consumo Per Cápita de los Principales Consumo de Alimentos y Bebidas*.

INEI. (2023). *Encuesta Demográfica y de Salud Familiar*.

Instituto de catálisis y petroquímica. (2019). *Espectroscopía de Emisión atómica ICP-OES*.

Kang, M., Wang, X., Chen, J., Fang, Q., Liu, J., Tang, L., Liu, L., Cao, W., Zhu, Y., & Liu, B. (2023). Extreme low-temperature events can alleviate micronutrient deficiencies while increasing potential health risks from heavy metals in rice. *Environmental Pollution, 334*. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122165

Kang, Z., Wang, S., Qin, J., Wu, R., & Li, H. (2020). Pollution characteristics and ecological risk assessment of heavy metals in paddy fields of Fujian province, China. *Scientific Reports, 10*(1). https://doi.org/10.1038/s41598-020-69165-x

Kartoğlu, B., Bahçivan, A., Erarpat, S., Bayraktar, A., & Bakirdere, S. (2023). Microwave assisted synthesis method for cobalt nanoleaves and its usage in sensitive determination of lead in blue butterfly tea extract and tap water samples by flame atomic absorption spectrophotometry. *Journal of Food Composition and Analysis, 121*. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105373

Kumar, A., Kumar, V., Rodríguez-Seijo, A., Setia, R., Singh, S., Kumar, A., Seth, C. S., & Somma, R. (2024). Appraisal of heavy metal(loid)s contamination in rice grain and associated health risks. In *Journal of Food Composition and Analysis* (Vol. 131). Academic Press Inc. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106215

Lin, C., Wang, W., Hu, G., Yu, R., Huang, H., & Liao, D. (2023). Incorporating source apportionment and bioaccessibility into human health risk assessment of heavy metals in a soil-rice system in the Jiulong River basin, southeast China. *Journal of Food Composition and Analysis, 124*. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105692

López, R., & Hamad, S. (n.d.). *Biosaia (revista de los másteres de Biotecnología Sanitaria y Biotecnología Ambiental, Industrial y Alimentaria de la UPO) nº3 (abril de 2014) "Determinación de metales pesados en aguas residuales mediante espectroscopia de emisión atómica y estudio de biosorción para su eliminación."* http://www.bioinfocabd.upo.es/biosaia/

Lu, A., Li, B., Li, J., Chen, W., & Xu, L. (2018). Heavy metals in paddy soil-rice systems of industrial and township areas from subtropical China: Levels,

transfer and health risks. *Journal of Geochemical Exploration*, *194*, 210–217. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2018.08.003

Lü, Q., Xiao, Q., Wang, Y., Wen, H., Han, B., Zheng, X., & Lin, R. (2021). Risk assessment and hotspots identification of heavy metals in rice: A case study in Longyan of Fujian province, China. *Chemosphere*, *270*. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128626

Madueño, F. (2017). *Determinación de metales pesados (plomo y cadmio) en lechuga (lactusa sativa en mercado del Cono Norte, Centro y Cono Sur de Lima Metropolitana*.

MIDAGRI. (n.d.). *Región Amazonas*.

MIMAN. (2017). *Estandares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo*. Alberta Environment.

MINAM. (n.d.). *Gestión de Sitios Contaminados | Dirección General de Calidad Ambiental*. Retrieved April 24, 2023, from https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/gestion-de-sitios-contaminados/

Mogollón Jara. (2020). *EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE CADMIO EN CULTIVOS DE ARROZ A NIVEL DE SUELO Y GRANO, UBICADOS EN LA VEREDA CANAGUARO DEL MUNICIPIO DE GRANADA META.*

Morice, C. (2011). *CORPORACION ARROCERA NACIONAL*.

Natasha, Bibi, I., Niazi, N. K., Shahid, M., Ali, F., Masood ul Hasan, I., Rahman, M. M., Younas, F., Hussain, M. M., Mehmood, T., Shaheen, S. M., Naidu, R., & Rinklebe, J. (2022). Distribution and ecological risk assessment of trace elements in the paddy soil-rice ecosystem of Punjab, Pakistan. *Environmental Pollution*, *307*. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119492

Ñaupas, H., Marcelino, P., Valdivia, R., Jesús, D., Palacios, J., Hugo, V., & Delgado, E. R. (2014). *Metodología de la investigación Cuantitativa-Cualitativa y Redacción de la Tesis*.

Oficina de Gestión de la Información y Estadística. (2019). *CARPETA GEOREFERENCIAL REGIÓN CAJAMARCA PERÚ*.

Pinciroli, M., ponzio, N., & Salsamendi, M. (2015). *El arroz alimento de millones*.

Poschenrieder, charlotte. (1987). *Efectos del cromo sobre la nutrición y relaciones hídricas*.

Reyes, Y. C., Vergara, I., Torres, O. E., Díaz, M., & González, E. E. (2016). *Heavy metals contamination: implications for health and food safety*. *16*, 66–77.

Sánchez Carlessi, H., & Reyes Meza, C. (2015). *Metodología y diseños en la investigación científica*.

Setia, R., Dhaliwal, S. S., Singh, R., Kumar, V., Taneja, S., Kukal, S. S., & Pateriya, B. (2021). Phytoavailability and human risk assessment of heavy metals in soils and food crops around Sutlej river, India. *Chemosphere*, *263*. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128321

Shan, A., Pan, J., Kang, K. J., Pan, M., Wang, G., Wang, M., He, Z., & Yang, X. (2021). Effects of straw return with N fertilizer reduction on crop yield, plant diseases and pests and potential heavy metal risk in a Chinese rice paddy: A field study of 2 consecutive wheat-rice cycles. *Environmental Pollution*, *288*. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117741

Singh, J., Upadhyay, S. K., Pathak, R. K., & Gupta, V. (2011). Accumulation of heavy metals in soil and paddy crop (Oryza sativa), irrigated with water of Ramgarh Lake, Gorakhpur, UP, India. *Toxicological and Environmental Chemistry*, *93*(3), 462–473. https://doi.org/10.1080/02772248.2010.546559

Sociedad, U. Y., Emilio, H., Avilés, M., Cristina, Á., Bruno, L., Fabián, S., & Escudero, V. (2019). *40 RICE AND ITS IMPORTANCE IN RURAL ENTREPRENEURSHIPS OF AGRI-CULTURAL BUSSINESS AS A LOCAL DEVELOPMENT MECHANISM OF SAM-BORONDÓN EL ARROZ Universidad de Guayaquil. Ecuador. Cita sugerida (APA, sexta edición)*.

Tan, H., Wang, L., Mo, L., Wu, C., Xing, Q., Zhang, X., Deng, X., Li, Y., & Li, Q. (2023). Occurrence and ecological risks of flonicamid and its metabolites in multiple substrates from intensive rice–vegetable rotations in tropical China. *Science of the Total Environment*, *899*. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165571

Torrente Trujillo, A., Calderón Manchola, L. V., & Joven Santofimio, E. M. (2020). METALES EN SUELOS PRODUCTORES DE ARROZ DEL DISTRITO JUNCAL, HUILA – COLOMBIA. *Suelos Ecuatoriales*, *50*(1y2), 1–12. https://doi.org/10.47864/se(50)2020p1-12_121

Uraguchi, S., & Fujiwara, T. (2012). Cadmium transport and tolerance in rice: Perspectives for reducing grain cadmium accumulation. *Rice*, *5*(1), 1–8. https://doi.org/10.1186/1939-8433-5-5

Vasudhevan, P., Pu, S., Ayyamperumal, R., Manikandan, E., Sujitha, S. B., Singh, S., Ponniah, J. M., Dixit, S., & Thangavel, P. (2025). Pollution assessment, ecological risk and source identification of heavy metals in paddy soils and rice grains from Salem, South India. *Journal of Hazardous Materials Advances*, *17*. https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2024.100526

Xie, L., Hao, P., Cheng, Y., Ahmed, I. M., & Cao, F. (2018). Effect of combined application of lead, cadmium, chromium and copper on grain, leaf and stem heavy metal contents at different growth stages in rice. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *162*, 71–76. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.06.072

Zang, Z., Li, Y., Liu, S., Li, H., Hao, Z., & Xu, Y. (2021). Assessment of the heavy metal pollution and health risks of rice cultivated in Hainan Island, China. *Environmental Forensics*, *22*(1–2), 63–74. https://doi.org/10.1080/15275922.2020.1836081

Zhang, G., Huang, Q., Song, K., Zhu, X., Ma, J., Zhang, Y., Yan, X., & Xu, H. (2022). Gaseous emissions and grain-heavy metal contents in rice paddies: A three-year partial organic substitution experiment. *Science of the Total Environment*, *826*. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154106

Zhang, Z., Zhang, N., Li, H., Lu, Y., & Yang, Z. (2020). Potential health risk assessment for inhabitants posed by heavy metals in rice in Zijiang River basin, Hunan Province, China. *Environmental Science and Pollution Research*, *27*(19), 24013–24024. https://doi.org/10.1007/s11356-020-08568-9

Zhao, B., Zhu, W., Hao, S., Hua, M., Liao, Q., Jing, Y., Liu, L., & Gu, X. (2023). Prediction heavy metals accumulation risk in rice using machine learning and

mapping pollution risk. *Journal of Hazardous Materials*, *448*. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.130879

Zhou, T., Pan, G., Li, L., Zhang, X., Zheng, J., Zheng, J., & Chang, A. (2014). Changes in greenhouse gas evolution in heavy metal polluted paddy soils with rice straw return: A laboratory incubation study. *European Journal of Soil Biology*, *63*, 1–6. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2014.03.008

Zou, M., Qin, W., Wang, Q., Qiu, Y., Yin, Q., & Zhou, S. (2023a). Translocation pattern of heavy metals in soil-rice systems at different growth stages: A case study in the Taihu region, Eastern China. *Chemosphere*, *330*. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138558

Zou, M., Qin, W., Wang, Q., Qiu, Y., Yin, Q., & Zhou, S. (2023b). Translocation pattern of heavy metals in soil-rice systems at different growth stages: A case study in the Taihu region, Eastern China. *Chemosphere*, *330*. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138558

VII. ANEXOS

7.1. Panel fotográfico

Fotografías 1 y 2

Recolección de arroz en los departamentos de Amazonas y Cajamarca

Fotografías 3 y 4

Muestreo de suelo en los departamentos de Amazonas y Cajamarca

Fotografía 5

Rotulado de muestras

Fotografías 6 y 7

Entrevista a agricultores de las regiones de Amazonas y Cajamarca

7.2. Emisión de resultados de tejido vegetal y suelos

Fotografía 8

Emisión de resultados de análisis de suelos

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN DE SUELOS Y AGUAS

UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA-AMAZONAS

INFORME DE ENSAYO N°	:	LAB24-AS-2454
DATOS GENERALES		
SOLICITANTE	:	CAMILA NICOLE HUAMÁN COTRINA
TELEFONO	:	964113582
E-MAIL	:	7266013092@untrm.edu.pe
DOMICILIO LEGAL	:	PSJ. VICTOR MANUEL TORREJON
RUC / DNI	:	72660130
DEPARTAMENTO	:	AMAZONAS
PROVINCIA	:	UTCUBAMBA
DISTRITO	:	BAGUA GRANDE
CASERÍO O ANEXO	:	CAJARURO
CODIGO DE MUESTRA / PARCELA	:	***M5-B6-AZ***
MUESTREADO POR	:	***CAMILA NICOLE HUAMAN COTRINA***
MATRIZ	:	SUELO AGRICOLA
PRESENTACIÓN	:	BOLSA PLÁSTICA
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS	:	jueves, 12 de Setiembre de 2024
FECHA DE ANÁLISIS	:	miércoles, 18 de Diciembre de 2024
ÁREA DE DESARROLLO DE LOS ANÁLISIS	:	EEA

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE METALES TOTALES EN SUELOS

PARÁMETROS INORGÁNICOS METÁLICOS

PARÁMETROS	MÉTODO	U.D.	L. D.	RESULTADOS
ARSÉNICO	Método: EPA 3050-B Espectrometría de Emisión Atómica de Plasma por Microondas MP-AES	ppm As	<0,005	20.23
CADMIO	Método: EPA 3050-B Espectrometría de Emisión Atómica de Plasma por Microondas MP-AES	ppm Cd	<0,005	<0.005
PLOMO	Método: EPA 3050-B Espectrometría de Emisión Atómica de Plasma por Microondas MP-AES	ppm Pb	<0,005	7.95

U.D.= Unidad de Medida. AF=Área de Física. AQ= Área química AFQ= Área de Análisis Fisicoquímico. CN= Área de Carbono Nitrógeno EEA= Área de Espectrofotometría de Emisión Atómica

OBSERVACIONES	SIN OBSERVACIONES

Este laboratorio está acreditado de acuerdo a la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

"La información resaltada en negrita y cursiva, es información proporcionada por el cliente, lo cual desliga al labotario de toda responsabilidad del muestreo realizado por el cliente".

Los resultados presentados son validos únicamente para las muestras ensayadas.

Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LABISAG.

Los resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

UNIVERSIDAD ... TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS LABISAG

Mg. LILY DEL PILAR JUAREZ CONTRERAS
RESPONSABLE

Calle Higos Urco N°342-350-356 - Calle Universitaria N°304 - Chachapoyas - Amazonas - Perú
labisag@untrm.edu.pe / labisag@indes-ces.edu.pe

Chachapoyas, 20 de Diciembre de 2024

Código: CCFT-036-II / Versión:02 / F.E.: 04/2024

Página: 01

"FIN DEL DOCUMENTO"

Fotografía 9

Emisión de resultados de análisis de tejido vegetal.

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN DE SUELOS Y AGUAS

UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA-AMAZONAS

INDES CES

INFORME DE ENSAYO N° : LAB24-AS-2434

DATOS GENERALES

SOLICITANTE	:	CAMILA NICOLE HUAMÁN COTRINA
TELÉFONO	:	958518253
E-MAIL	:	7266013092@untrm.edu.pe
DOMICILIO LEGAL	:	PSJ. VICTOR MANUEL TORREJON
RUC / DNI	:	72660130
DEPARTAMENTO	:	CAJAMARCA
PROVINCIA	:	SAN IGNACIO
DISTRITO	:	NO ESPECIFICA
CASERÍO O ANEXO	:	NO ESPECIFICA
CÓDIGO DE MUESTRA / PARCELA	:	***M5-SI-AZ***
MUESTREADO POR	:	***CAMILA NICOLE HUAMAN COTRINA***
MATRIZ	:	TEJIDO VEGETAL
PRESENTACIÓN	:	SOBRE DE PAPEL
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS	:	jueves, 12 de Setiembre de 2024
FECHA DE ANÁLISIS	:	miércoles, 18 de Diciembre de 2024
ÁREA DE DESARROLLO DE LOS ANÁLISIS	:	EEA

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE METALES TOTALES EN TEJIDO VEGETAL

PARÁMETROS INORGÁNICOS METÁLICOS

PARÁMETROS	MÉTODO	U.D.	L. D.	RESULTADOS
ARSÉNICO	Método: EPA 3050-B Espectrometría de Emisión Atómica de Plasma por Microondas MP-AES	ppm As	<0,005	2.32
CADMIO	Método: EPA 3050-B Espectrometría de Emisión Atómica de Plasma por Microondas MP-AES	ppm Cd	<0,005	0.24
PLOMO	Método: EPA 3050-B Espectrometría de Emisión Atómica de Plasma por Microondas MP-AES	ppm Pb	<0,005	2.41

U.D.= Unidad de Medida. AF=Área de Física. AQ= Área química AFQ= Área de Análisis Fisicoquímico. CN= Área de Carbono Nitrógeno EEA= Área de Espectrofotometría de Emisión Atómica

OBSERVACIONES | **SIN OBSERVACIONES**

Este laboratorio está acreditado de acuerdo a la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

"La información resaltada en negrita y cursiva, es información proporcionada por el cliente, lo cual desliga al laboratorio de toda responsabilidad del muestreo realizado por el cliente".

Los resultados presentados son validos únicamente para las muestras ensayadas.

Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LABISAG.

Los resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS LABISAG

Mg. LILY DEL PILAR JUAREZ CONTRERAS RESPONSABLE

Calle Hígos Urco N°342-350-356 - Calle Universitaria N°304 - Chachapoyas - Amazonas - Perú

labisag@untrm.edu.pe / labisag@indes-ces.edu.pe

Código: CCFT-036-II / Versión:02 / F.E.: 04/2024

Chachapoyas, 20 de Diciembre de 2024

Página: 01

"FIN DEL DOCUMENTO"