

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**TESIS PARA OBTENER  
EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**ÍNDICE DE CALIDAD Y CONCENTRACIÓN DE  
METALES PESADOS EN QUINUA (*Chenopodium quinoa*)  
PRODUCIDA EN PERÚ**

**Autor: Bach. Javier Idrogo Castillo**

**Asesor: Ms. Grobert Amado Guadalupe Chuqui**

**Registro:**

**CHACHAPOYAS – PERU**

**2024**

## **DEDICATORIA**

A mi amado Dios, gracias por enseñarme que tus misericordias son nuevas cada mañana y por devolverme las ganas de seguir viviendo a pesar de lo duro que fue mi vida en estos últimos años.

A mi estimado padre, le agradezco por brindarme su apoyo incondicional y a mi querida madre, aunque ya no la tenga a mi lado, su recuerdo me motiva a seguir luchando.

A mis queridos hermanos, gracias por su motivación constante hacia mi persona.

A mi novia, por ser mi mayor motivación en mi vida, gracias por preocuparte por mí y estar a mi lado en los buenos y sobre todo en los malos momentos, y por siempre buscar lo mejor para mi porvenir.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, al equipo de profesionales del Laboratorio LABISAG de la UNTRM y a mi asesor, Ms. Grobert A. Guadalupe Chuqui, por ser parte importante de este logro, gracias por la oportunidad brindada, gracias por ser un excelente docente y ser humano, deseo que pueda encontrar más éxitos en un futuro próximo.

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

**Ph. Dr. Jorge Luis Maicelo Quintana**

RECTOR

**Dr. Oscar Andrés Gamarra Torres**

VICERRECTOR ACADÉMICO

**Dra. María Nelly Luján Espinoza**

VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN

**Dr. Erick Aldo Auquiñivin Silva**

VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN

## VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA 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 ÍNDICE DE CALIDAD Y CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN QUINUA (Chenopodium quinoa) PRODUCIDA EN PERÚ.; del egresado JAVIER IDROGO CASTILLO de la Facultad de INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS Escuela Profesional de INGENIERÍA AEROINDUSTRIAL 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, 22 de MARZO de 2024

Firma y nombre completo del Asesor  
**MS. GROBERT AMADO  
GUADALUPE CHUQUI**

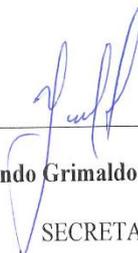


## JURADO EVALUADOR DE LA TESIS



**Ph.D. Armstrong Barnard Fernández Jeri**

PRESIDENTE



**Mg. Segundo Grimaldo Chávez Quintana**

SECRETARIO



**Mg. Robert Javier Cruzalegui Fernández**

VOCAL

# CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS



## ANEXO 3-Q

### CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

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

"ÍNDICE DE CALIDAD Y CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN QUINUA (Chenopodium quinoa) PRODUCIDA EN PERÚ"

presentada por el estudiante ( )/egresado (X) JAVIER IDROGO CASTILLO

de la Escuela Profesional de INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

con correo electrónico institucional 4873616541@untrm.edu.pe

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

- La citada Tesis tiene 24 % 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.
- 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, 17 de MAYO del 2024



  
SECRETARIO

  
VOCAL

  
PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

.....  
.....

## REPORTE TURNITIN

### ÍNDICE DE CALIDAD Y CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN QUINUA (*Chenopodium quinoa*) PRODUCIDA EN PERÚ.docx

#### INFORME DE ORIGINALIDAD

**24%** EN  
ÍNDICE DE SIMILITUD

**23%**  
FUENTES DE INTERNET

**21%**  
PUBLICACIONES

**8%**  
TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

#### FUENTES PRIMARIAS

**1** [www.mdpi.com](http://www.mdpi.com) **9%**  
Fuente de Internet

**2** [backend.orbit.dtu.dk](http://backend.orbit.dtu.dk) **2%**  
Fuente de Internet

**3** Diego Hernando Flórez-Martínez, Jader Rodríguez-Cortina, Luis Fernando Chavez-Oliveros, Germán Andrés Aguilera-Arango et al. "Current trends and prospects in quinoa research: An approach for strategic knowledge areas", Food Science & Nutrition, 2023 **2%**  
Publicación

**4** Submitted to Rivier University **2%**  
Trabajo del estudiante

**5** [link.springer.com](http://link.springer.com) **1%**  
Fuente de Internet

**6** [www.qascf.com](http://www.qascf.com) **1%**  
Fuente de Internet

*Armando Fernández*

# ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS



## ANEXO 3-S

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 11 de junio del año 2024, siendo las 16:00 horas, el aspirante: Javier Idego Castillo, asesorado por Ms. Gisbert Amado Guadalupe Choyui defiende en sesión pública presencial () / a distancia (  ) la Tesis titulada: Índice de calidad y concentración de metales pesados en quinua (Chenopodium quinoa) producidas en Perú, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: Ph. D. Armando Bernard Fernández Jca.

Secretario: Ms. Sigardo Giraldo Chaves Durandina

Vocal: Ms. Robert Javier Guaykupi Fernández

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.

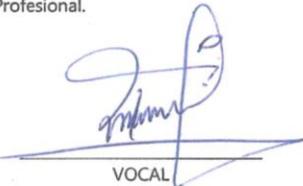
Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado () por Unanimidad () / 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 17:00 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.

  
SECRETARIO

  
VOCAL

  
PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

.....

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ MENDOZA DE AMAZONAS .....	iv
VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS .....	v
JURADO EVALUADOR DE LA TESIS .....	vi
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS.....	vii
REPORTE TURNITIN.....	viii
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS.....	ix
ÍNDICE.....	x
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
I. INTRODUCCIÓN.....	15
II. MATERIAL Y MÉTODOS.....	18
II.1. Recolección de muestra.....	18
II.2. Métodos.....	18
II.2.1. Determinación de metales pesados.....	18
II.2.2. Determinación del índice de calidad .....	19
II.3. Análisis de datos .....	19
III. RESULTADOS .....	20
III.1. Concentración de metales pesados (Pb) en quinua producida en Perú .....	20
Figura 1. <i>Concentración de As, Cd, Cr, Hg y Pb en granos de quinua perlada.</i> .....	21
Figura 2. <i>Índice de calidad de quinua perlada.</i> .....	22
IV. DISCUSIÓN .....	23
V. CONCLUSIONES .....	24
VI. RECOMENDACIONES.....	25
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	26
ANEXOS .....	29

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Concentración de metales (media y desviación estándar) en granos de quinoa perlada. Razón F del ANOVA .....	20
--	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Concentración de As, Cd, Cr, Hg y Pb en granos de quinoa perlada.....	21
Figura 2. Índice de calidad de quinoa perlada.....	22

## RESUMEN

En los últimos años, la quinua (*Chenopodium quinoa*) ha crecido en popularidad por ser una semilla altamente nutritiva que tiene todos los aminoácidos y vitaminas esenciales y la presencia de metales pesados puede representar un problema a la salud pública. El estudio tuvo como objetivo evaluar el índice de calidad y concentración de arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr), mercurio (Hg) y plomo (Pb) en quinua en Perú. Se analizaron 55 muestras por triplicado, adquiridas en mercados locales de los departamentos Ancash, Amazonas, Apurímac, Arequipa, Ayacucho, Cajamarca, Cusco, Huancavelica, Junín, La Libertad y Puno. La concentración de metales pesados se determinó mediante ICP-MS (Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente). Los resultados mostraron que los valores de Cd y Hg en todas las regiones estaban por debajo del límite de detección (0.005 mg/kg). Los resultados muestran que existen diferencias significativas por región para As. Siendo Arequipa y Puno las regiones con las concentraciones más altas. Por el contrario, las diferencias no fueron significativas en Cr y Pb.

**Palabras clave:** contaminante, exposición, riesgo.

## ABSTRACT

In recent years, quinoa (*Chenopodium quinoa*) has grown in popularity as a highly nutritious seed that has all the essential amino acids and vitamins, and the presence of heavy metals may represent a public health problem. The study aimed to evaluate the quality index and concentration of arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr), mercury (Hg) and lead (Pb) in quinoa in Peru. Fifty-five samples were analyzed in triplicate, purchased in local markets in the departments of Ancash, Amazonas, Apurímac, Arequipa, Ayacucho, Cajamarca, Cusco, Huancavelica, Junín, La Libertad and Puno. The concentration of heavy metals was determined by ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry). The results showed that Cd and Hg values in all regions were below the detection limit (0.005 mg/kg). The results show that there are significant differences by region for As. Arequipa and Puno were the regions with the highest concentrations. In contrast, differences were not significant for Cr and Pb.

**Keywords:** pollutant, exposure, risk.

## I. INTRODUCCIÓN

La quinua (*Chenopodium quinoa*) es un cultivo ancestral originario de los Andes, y su creciente importancia a nivel mundial ha llevado a un aumento significativo en su producción. La calidad de la quinua no solo está determinada por su valor nutricional, sino también por la presencia de metales pesados en el suelo y su absorción por parte de la planta, lo que hace necesario evaluar la calidad de la quinua desde esta perspectiva (Angeli et al., 2020). La calidad de la quinua va a depender de las diversas variedades de quinua, las técnicas realizadas para el cultivo, el suelo y clima (Díaz, 2018; Lavado, 2018).

Un aspecto de interés en el consumo de alimentos es la inocuidad, que garanticen estar libres de contaminantes. En la actualidad la seguridad alimentaria es una preocupación a nivel mundial, por la gran contaminación y enfermedades que generan los metales pesados a través de los alimentos (Chagua, 2022). De acuerdo al Codex Alimentarius, cuando un alimento contiene un compuesto que no es inherente a él, se le llama contaminante (Rodríguez, 2019). La industria minera es actualmente uno de los trabajos en el mundo que genera mucha contaminación dañando los recursos hídricos y las tierras (Rosas, 2023). Esta actividad altera la composición química del agua y asimismo aumenta la concentración de los metales disueltos (Luisetti, 2023). Todo esto conlleva a originar problemas de toxicidad para el humano, y también para su flora y fauna (Sequeiros, 2022).

Estos contaminantes como el arsénico, plomo, cromo, cadmio y mercurio pueden acumularse en los tejidos de las plantas y ser absorbidos durante su crecimiento (Guarino et al., 2020). Cuyas concentraciones elevadas pueden entrañar riesgos para la salud humana y comprometer la calidad intrínseca de los alimentos. (Colque-Little et al., 2021). Es por eso que la concentración de dichos metales en la quinua desempeña un papel esencial en la evaluación de la seguridad alimentaria y la calidad de este cultivo altamente valorado. (Timothy y Tagui, 2019). El arsénico es un metaloide que puede estar presente en el suelo y contaminar los cultivos. Su acumulación en la quinua puede afectar la calidad del cultivo y, por ende, su índice de calidad. Niveles elevados de arsénico superiores a 20 mg/kg no es seguro para los humanos y pueden tener implicaciones negativas para la salud, por lo que un índice de calidad positivo está asociado con bajos niveles de arsénico en la quinua (Shabbir et al., 2021). El plomo, un metal pesado

reconocido por sus efectos perjudiciales en la salud humana, puede tener un impacto directo en la evaluación de la calidad de la quinua. Un alto índice de calidad se traduce en bajos niveles de plomo, garantizando así la seguridad de la quinua para su consumo humano (Kumar et al., 2020). Al medir la concentración de plomo en los granos de quinua de diversas variedades, se demostró que los niveles de Pb que están por debajo de los Niveles Máximos ( $0.2 \text{ mg kg}^{-1}$ ) en Plomo, en todas las muestras de quinua estudiadas (Parillo, 2021). El cromo, en particular el cromo hexavalente, es una forma tóxica que puede afectar la calidad de la vegetación y sus altas concentraciones pueden tener consecuencias negativas para la salud. Un índice de calidad positivo se asocia con bajos niveles de cromo (Rani et al., 2020). Cabe mencionar que la quinua tiene capacidad para tolerar y acumular Cr en condiciones salinas y no salinas (Guarino et al., 2020). El cadmio es un metal pesado tóxico que puede acumularse en los tejidos de las plantas. Su presencia en el amaranto puede influir en el índice de calidad de manera significativa. Un índice de calidad alto se relaciona con bajos niveles de cadmio, garantizando la seguridad alimentaria (Sterckeman y Thomine, 2020). El mercurio es otro metal pesado perjudicial para la salud humana. Su acumulación en las plantas puede afectar su calidad y seguridad. Un índice de calidad positivo implica bajos niveles de mercurio en el sorgo, asegurando la pureza del cultivo (Román-Ochoa et al., 2021). La presencia de minerales como boro (B), cobre (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), cadmio (Cd), entre otros, benefician los suelos agrícolas en proporciones normales, ya que favorecen el desarrollo de las plantas. Estos minerales se utilizan a nivel mundial mediante fertilizantes o abonos químicos con el fin de promover el crecimiento vegetal. Sin embargo, es esencial gestionar cuidadosamente estas prácticas para evitar la acumulación excesiva de metales pesados, asegurando así la seguridad y calidad de los alimentos producidos. (Peña y Yabarrena, 2019).

Estudios previos han reportado la presencia de metales pesados en granos de quinua, como cadmio, plomo y arsénico en muestras provenientes del norte y sur de la sierra de Perú (Palma, 2022). En la región Lambayeque se encontró Pb en 4 muestras provenientes, en Piura se encontró Cd, As y Pb en tan solo 1 muestra (Arenas, 2022; Ghous et al., 2022). Al analizar las concentraciones de Cd y Pb en los tejidos de las plantas de quinua y calcular el riesgo de toxicidad asociado a la presencia de estos metales pesados en los cultivos, concluyeron que la planta de quinua muestra diferentes respuestas a la toxicidad del Cd y Pb, como cambios fisiológicos, índice de estabilidad de la membrana y

actividades de las enzimas antioxidantes. Sin embargo, la acumulación de Cd en las semillas es superior a los límites permisibles, lo que sugiere que las semillas cultivadas en suelos contaminados con Cd no son aptas para fines comestibles (Amjad et al., 2022). La quinua, en particular, destaca como un alimento seguro dentro de los parámetros establecidos. Las evaluaciones de riesgos para la salud, que incluyen ingestas semanales tolerables provisionales, cocientes de peligro objetivo y valores del índice de peligro, todos inferiores a 1, respaldan la seguridad general de las muestras analizadas (Gu et al., 2021).

Por ello el objetivo de la presente investigación es evaluar el índice de calidad y concentración de As, Cd, Cr, Hg y Pb en quinua en Perú, para lo cual se analizaron 55 muestras por triplicado, adquiridas en mercados locales de los departamentos seleccionados.

## **II. MATERIAL Y MÉTODOS**

### **II.1. Recolección de muestra**

Se recolectó 55 muestras de quinua perlada (1.0 kg por muestra), de las principales regiones productoras del Perú: Ancash, Amazonas, Apurímac, Arequipa, Ayacucho, Cajamarca, Cusco, Huancavelica, Junín, La Libertad y Puno. Las muestras se adquirieron en mercados locales de las regiones indicadas y trasladadas en su envase original.

#### **Variables de estudio**

- Concentración de As, Cd, Cr, Hg y Pb.
- Regiones de procedencia de la quinua.

### **II.2. Métodos**

#### **II.2.1. Determinación de metales pesados**

Se determinó la concentración siguiendo el método descrito por Leiva-Tafur et al. (2022) y Guadalupe et al. (2023). Se preparó las muestras utilizando la técnica de digestión ácida y para la detección de metales una espectroscopia de emisión atómica por plasma de microondas (Agilent 4100 MP-AES, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA) equipada con una antorcha estándar, un nebulizador Inert One Neb y una cámara ciclónica de pulverización de vidrio de doble paso (Agilent Technologies) (APHA, 2017).

Se seleccionaron longitudes de onda de detección de 228.802 nm, 405.781 nm, 193.695 nm, 425.433 nm y 253.652 nm para cuantificar As, Cd, Cr, Hg y Pb, respectivamente. El equipo se calibró utilizando soluciones patrón de cada elemento con diversas concentraciones, elaboradas a partir de una solución patrón de 1.00 mg/kg. La calidad analítica de la detección y cuantificación se controló midiendo muestras ciegas y dobles. Los límites de detección (LOD) y cuantificación (LOQ) se calcularon como la cantidad mínima detectable de analito con una relación señal/ruido de 3:1 y 10:1 respectivamente (Oliveira et al., 2015), y se expresan como concentración (mg/kg). Los parámetros fueron validados a partir de diez réplicas, para As, Cd, Cr, Hg y Pb, el límite de cuantificación (LOQ) fue de 0.008, 0.016, 0.009, 0.015 y 0.150 mg/kg, el límite de detección (LOD) fue de 0.003, 0.005, 0.003, 0.005 y 0.050 mg/kg, y la linealidad ( $R^2$ ) fue de 0.996, 0.999, 0.999, 0.999, 0.998 y 0.999 respectivamente.

### **II.2.2. Determinación del índice de calidad**

Se determinó de qué manera afectaron las detecciones múltiples a la calidad de la quinua, utilizando para ello el índice de calidad alimentaria (Iq) a cada una de las muestras analizadas. Se calculó dicho índice para cada muestra como la suma de las relaciones entre las concentraciones de metales pesados (PRC) y los respectivos límites máximos permitidos (LMP) según la normatividad existente (Arienzo et al., 2013; Mac Loughlin et al., 2018).

$$Iq = \sum_{i=1}^n PRC_i / LMP_i \quad (1)$$

Para detecciones no cuantificables, un valor de la mitad del LOD se utilizará para calcular la contribución al Iq.

### **II.3. Análisis de datos**

Para encontrar diferencia estadística entre las regiones productoras y variedades de quinua se realizó un ANOVA por cada uno de los metales pesados y la prueba de comparación de medias de Tukey (sig. = 0.05) empleando el software estadístico SPSS v25.

### III. RESULTADOS

#### III.1. Concentración de metales pesados (Pb) en quinua producida en Perú

La tabla 1 presenta la media y desviación estándar de la concentración de As, Cd, Cr, Hg y Pb, el análisis multifactorial de la varianza (ANOVA), la razón F y las diferencias significativas para el factor región de producción.

**Tabla 1.** Concentración de metales (media y desviación estándar) en granos de quinua perlada. Razón F del ANOVA.

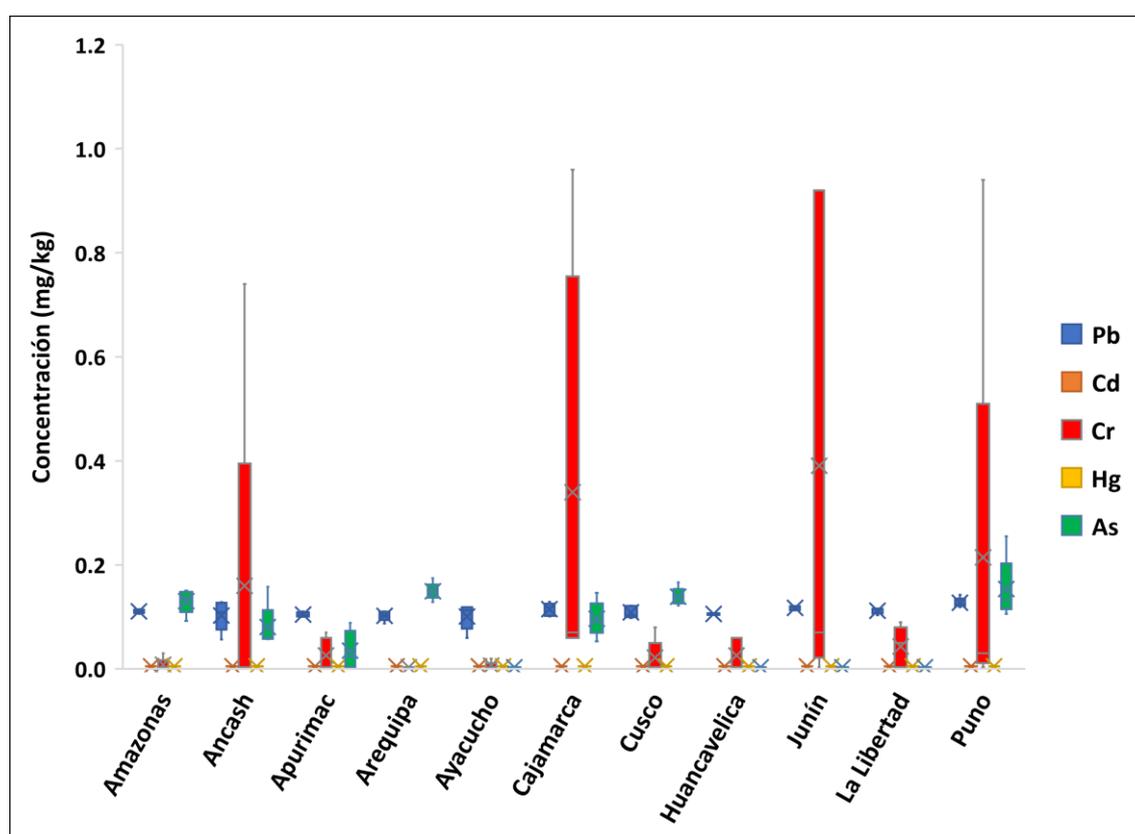
Región	Concentración (mg/kg)				
	As	Cd	Cr	Hg	Pb
Amazonas	0.130±0.023 <sup>ab</sup>	<0.005	0.008±0.012 <sup>a</sup>	<0.005	0.111±0.003 <sup>a</sup>
Ancash	0.080±0.044 <sup>bc</sup>	<0.005	0.160±0.325 <sup>a</sup>	<0.005	0.103±0.029 <sup>a</sup>
Apurímac	0.035±0.037 <sup>c</sup>	<0.005	0.026±0.032 <sup>a</sup>	<0.005	0.105±0.004 <sup>a</sup>
Arequipa	0.149±0.017 <sup>a</sup>	<0.005	<0.003	<0.005	0.102±0.009 <sup>a</sup>
Ayacucho	<0.003	<0.005	0.006±0.008 <sup>a</sup>	<0.005	0.101±0.025 <sup>a</sup>
Cajamarca	0.096±0.034 <sup>abc</sup>	<0.005	0.340±0.406 <sup>a</sup>	<0.005	0.115±0.012 <sup>a</sup>
Cusco	0.139±0.017 <sup>ab</sup>	<0.005	0.022±0.033 <sup>a</sup>	<0.005	0.109±0.011 <sup>a</sup>
Huancavelica	<0.003	<0.005	0.026±0.031 <sup>a</sup>	<0.005	0.106±0.002 <sup>a</sup>
Junín	<0.003	<0.005	0.391±0.484 <sup>a</sup>	<0.005	0.117±0.004 <sup>a</sup>
La Libertad	<0.003	<0.005	0.043±0.039 <sup>a</sup>	<0.005	0.112±0.005 <sup>a</sup>
Puno	0.154±0.059 <sup>a</sup>	<0.005	0.215±0.407 <sup>a</sup>	<0.005	0.128±0.009 <sup>a</sup>
ANOVA F ratio	25.443 <sup>***</sup>	-	1.663 <sup>ns</sup>	-	1.727 <sup>ns</sup>

Letras diferentes por columna indican grupos estadísticamente diferentes (prueba de Tukey,  $p < 0,05$ ), ns: No significativo; \*\*\*  $p < 0,001$ .

Los resultados mostraron que los valores de Cd y Hg en todas las regiones estaban por debajo del límite de detección (0.005 mg/kg). Los resultados muestran que existen diferencias significativas por región para As. Siendo Arequipa y Puno las regiones con las concentraciones más altas. Por el contrario, las diferencias no fueron significativas en Cr y Pb.

La concentración de As en las regiones de producción estudiadas está en el rango de <LOD:0.003 mg/kg a 0.154 mg/kg en la región Puno. Los niveles de Cr medidos tuvieron valores en el orden de <LOD:0.003 mg/kg a 0.391 mg/kg (Junín). Los resultados sobre la contaminación por Pb del grano de quinoa variaron de 0.057 a 0.142 mg/kg (Figura 1).

Figura 1. *Concentración de As, Cd, Cr, Hg y Pb en granos de quinoa perlada.*

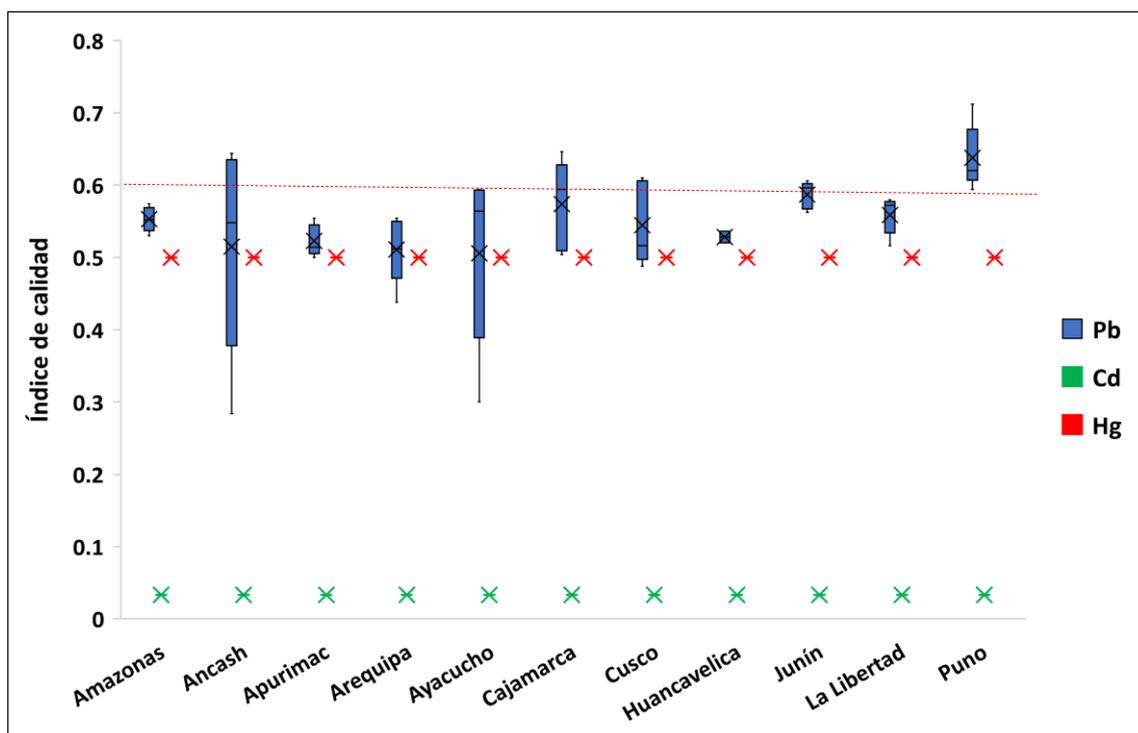


### III.2. Índice de calidad

El Reglamento Europeo (UE) 2021/1323 de la Comisión Europea que modificó el Reglamento (CE) 1881/2006, fijó un valor máximo de Cd de 0,15 mg/kg en quinua, en el caso del Pb se ha fijado un valor máximo de 0,20 mg/kg para los cereales (Almeida, 2020). En el caso del Hg, un valor límite de mercurio total de 0,01 mg/kg fue establecido para diversos cereales (Reglamento (UE) 2018/73, 2018).

La figura 2 presenta el índice de calidad (Iq) de los granos de quinua por el nivel de metales presentes y los límites establecidos en la legislación alimentaria. Para detecciones no cuantificables (Cg y Hg), un valor del LOD se utilizó para calcular la contribución al Iq.

Figura 2. *Índice de calidad de quinoa perlada.*



El Iq contiene cuatro categorías: excelente ( $<0$ ), bueno ( $0-0.6$ ), adecuado ( $0.6-1$ ) e inadecuado ( $>1$ ). En las muestras analizadas no se identificó muestras que hayan sido calificadas como inadecuadas. El Hg y Cd en todas las regiones presentan un índice de calidad buena. El Pb en la región Puno fue categorizada como adecuada y los demás departamento fueron calificados como bueno.

#### IV. DISCUSIÓN

La concentración de As en las regiones de producción estudiadas está en el rango de <LOD:0.003 mg/kg a 0.154 mg/kg en la región Puno. Estos resultados coinciden con los estudios realizados por Román-Ochoa et al. (2021,2023) en la región Arequipa de Perú, cuyos valores tuvieron un valor medio de 0.060 a 0.074 mg/kg. Los valores de la región Apurímac (0.035 mg/kg) del presente estudio se asimilan a los valores medios de  $0.028 \pm 0.05$  mg/kg reportados por Song-Yi et al (2021) en granos de quinoa procedentes de Perú, USA y Korea y a los valores medios de  $0.030 \pm 0.02$  mg/Kg reportados por Shabbir et al. (2020) de un estudio en Pakistan. Así mismo, se reportó cuatro regiones donde el As fue <LOD, concordante con lo reportado por Souza et al (2020) en Brasil en donde las muestras analizadas evaluadas fueron <LOQ:0.034 mg/Kg.

En el presente estudio, el Cd fue <LOD:0.005 mg/kg, este resultado coincide con el obtenido por Souza et al. (2020) en Brasil (<LOQ:0.015 mg/Kg) y es ligeramente inferior a los obtenidos por Román-Ochoa et al. (2021,2023) en Perú (0.020 a 0.091 mg/kg) y Song-Yi et al. (2021) en Korea (0.049 mg/kg).

Los niveles de Cr medidos tuvieron valores en el orden de <LOD:0.003 mg/kg a 0.391 mg/kg (Junín). Son limitados los estudios de Cr realizados en granos de quinoa. Los valores de la presente investigación se encuentran en línea con los reportados por Román-Ochoa et al. (2021) con niveles medios de 0.061 mg/kg.

En las muestras de quinoa de las regiones estudiadas en la presente investigación el Hg fue <LOD:0.005 mg/kg, este resultado coincide con el obtenido por Song-Yi et al. (2021) en Korea (<LOD) y Souza et al. (2020) en Brasil (<LOQ:0.021 mg/Kg). Román-Ochoa et al. (2021,2023) en muestras de la región Arequipa de Perú reportó valores medios de Hg de 0.003 mg/kg valores inferiores al límite de detección del presente estudio.

Los resultados sobre la contaminación por Pb del grano de quinoa (0.057 a 0.142 mg/kg), son valores ligeramente superiores a los reportados por: Román-Ochoa et al. (2021,2023) en Perú (0.038 a 0.040 mg/kg), por Song-Yi et al. (2021) en muestras de Perú, USA y Korea (0.031 mg/kg) y por Souza et al. (2020) en Brazil (<LOQ:0.105 mg/kg).

## **V. CONCLUSIONES**

Los resultados mostraron que los valores de Cd y Hg en todas las regiones estaban por debajo del límite de detección (0.005 mg/kg). Los resultados muestran que existen diferencias significativas por región para As. Siendo Arequipa y Puno las regiones con las concentraciones más altas. Por el contrario, las diferencias no fueron significativas en Cr y Pb. Los niveles de metales y metaloides detectados en todas las regiones estudiadas se encuentran como buenas o adecuadas, según el índice de calidad.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Se recomienda continuar con investigaciones que se encarguen de evaluar la existencia de otros metales pesados y también de tóxicos, así mismo estudiar la influencia de las diversas variedades, de esta manera se busca ofrecer productos de calidad y sobre todo con seguridad alimentaria.

Se recomienda a las autoridades sanitarias seguir estableciendo estrategias de vigilancia y control en los diversos puntos de venta, los cuales brinden todos los requisitos de seguridad alimentaria en sus productos, protegiendo y cuidando la salud del consumidor.

Se recomienda al público, realizar sus compras de quinua en lugares de venta autorizados, que cuenten con todos los controles de calidad.

Se recomienda sembrar semilla de quinua de buena calidad, que cumpla con ciertas características, como son pureza física, calidad fitosanitaria, semillas provenientes de cosechas frescas (campaña anterior) y no guardados de 2 a 3 años.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amjad, M., Iqbal, M., Abbas, G., Farooq, A., Naeem, M., Imran, M., Murtaza, B., Nadeem, M., & Jacobsen, S.-E. (2022). Assessment of cadmium and lead tolerance potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) and its implications for phytoremediation and human health. *Environmental Geochemistry and Health*, 44(5), 1487–1500. <https://doi.org/10.1007/s10653-021-00826-0>
- Angeli, V., Silva, P., Massuela, D., Khan, M., Hamar, A., Khajehei, F., Graeff-Hönninger, S., & Piatti, C. (2020). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): An Overview of the Potentials of the “Golden Grain” and Socio-Economic and Environmental Aspects of Its Cultivation and Marketization. *Foods*, 9(2), 216. <https://doi.org/10.3390/foods9020216>
- Colque-Little, C., Amby, D., & Andreasen, C. (2021). A Review of *Chenopodium quinoa* (Willd.) Diseases—An Updated Perspective. *Plants*, 10(6), 1228. <https://doi.org/10.3390/plants10061228>
- Chagua, A. (2022, noviembre 4). Optimización de la extracción con fluidos supercríticos de Saponinas Triterpenoides del escarificado de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/8857>
- Díaz, M. (2018, 09). Estandarización de los criterios de calidad de la quinua (*Chenopodium Quinoa* Willd) como un avance para fomentar la cadena productiva en Cundinamarca—10596/18770. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/18770>
- Ghous, M., Bakhtavar, M., Nawaz, F., Haq, T., & Khan, S. (2022). Halophyte quinoa: a potential hyperaccumulator of heavy metals for phytoremediation. *Asian Journal of Agriculture and Biology*, 4(Online First), 1–9. <https://doi.org/10.35495/ajab.2021.444>
- Gu, S.-Y., Shin, H.-C., Kim, D.-J., Park, S. U., & Kim, Y.-K. (2021). The content and health risk assessment of micro and toxic elements in cereals (oat and quinoa), legumes (lentil and chick pea), and seeds (chia, hemp, and flax). *Journal of Food Composition and Analysis*, 99. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103881>
- Guarino, F., Ruiz, K., Castiglione, S., Cicatelli, A., & Biondi, S. (2020a). The combined effect of Cr(III) and NaCl determines changes in metal uptake, nutrient content, and gene expression in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 193. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110345>

- Guarino, F., Ruiz, K., Castiglione, S., Cicutelli, A., & Biondi, S. (2020b). The combined effect of Cr(III) and NaCl determines changes in metal uptake, nutrient content, and gene expression in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 193. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110345>
- Kumar, A., Kumar, A., Cabral-Pinto, M., Chaturvedi, A., Shabnam, A., Subrahmanyam, G., Mondal, R., Gupta, D., Malyan, S., Kumar, S., Khan, S., & Yadav, K. (2020). Lead Toxicity: Health Hazards, Influence on Food Chain, and Sustainable Remediation Approaches. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(7). <https://doi.org/10.3390/ijerph17072179>
- Lavado, P. (2018). Cuantificación de la concentración de plomo y cadmio en quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) expendida en Lima metropolitana comparada con los parámetros establecidos por la Unión Europea y Mercosur. Repositorio Institucional - UIGV. <http://repositorio.uigv.edu.pe/handle/20.500.11818/2009>
- Palma, J. (2022). Evaluación de la ocurrencia natural de ocratoxina A en quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivada en la provincia de Chimborazo. <http://dspace.esoch.edu.ec/handle/123456789/18821>
- Parillo, I. (2021). *Determinación de parámetros y contenido de plomo en insuflados por explosión de diferentes variedades de quinua (Chenopodium Quinoa willd)* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Juliaca]. <http://repositorio.unaj.edu.pe:8080/handle/UNAJ/185>
- Peña, G., & Yabarrena, L. (2019). Estudio del efecto de contaminación de los productos agrícolas irrigados con aguas de la subcuenca del río Huatanay, Cusco – Perú. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/4259>
- Rani, P., Arya, R., & Dwivedi, S. (2020). Chromium Pollution: Impact on Plants and its Mitigation. *Innovations in Food Technology*, 323–340. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-6121-4\\_23](https://doi.org/10.1007/978-981-15-6121-4_23)
- Rodríguez, R. (2019). Remoción de metales pesados presentes en el drenaje ácido de minería y su impacto ambiental en la comunidad de la cuenca porcón. Repositorio institucional – UNAC. <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/4197>

- Román-Ochoa, Y., Choque Delgado, G., Tejada, T., Yucra, H., Durand, A., & Hamaker, B. (2021). Heavy metal contamination and health risk assessment in grains and grain-based processed food in Arequipa region of Peru. *Chemosphere*, 274, 129792. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129792>
- Rosas, F. (2023, marzo 27). Producción de Xilooligosacaridos (XOS) por hidrólisis de la fracción de Hemicelulosa obtenida a partir de residuos de quinua. <http://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/12454>
- Shabbir, A., Abbas, G., Asad, S., Razzaq, H., Anwar-ul-Haq, M., & Amjad, M. (2021). Effects of arsenite on physiological, biochemical and grain yield attributes of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): implications for phytoremediation and health risk assessment. *International Journal of Phytoremediation*, 23(9), 890–898. <https://doi.org/10.1080/15226514.2020.1865266>
- Sterckeman, T., & Thomine, S. (2020). Mechanisms of Cadmium Accumulation in Plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 39(4), 322–359. <https://doi.org/10.1080/07352689.2020.1792179>
- Timothy, N., & Tagui, E. (2019). Environmental Pollution by Heavy Metal: An Overview. *International Journal of Environmental Chemistry*, 3(2), 72. <https://doi.org/10.11648/j.ijec.20190302.14>

## ANEXOS



**Figura 1.** Muestra de quinua, región Puno.



**Figura 2.** Muestra de quinua, región Cuzco.



Figura 3. Muestra de quinua, región Ayacucho.

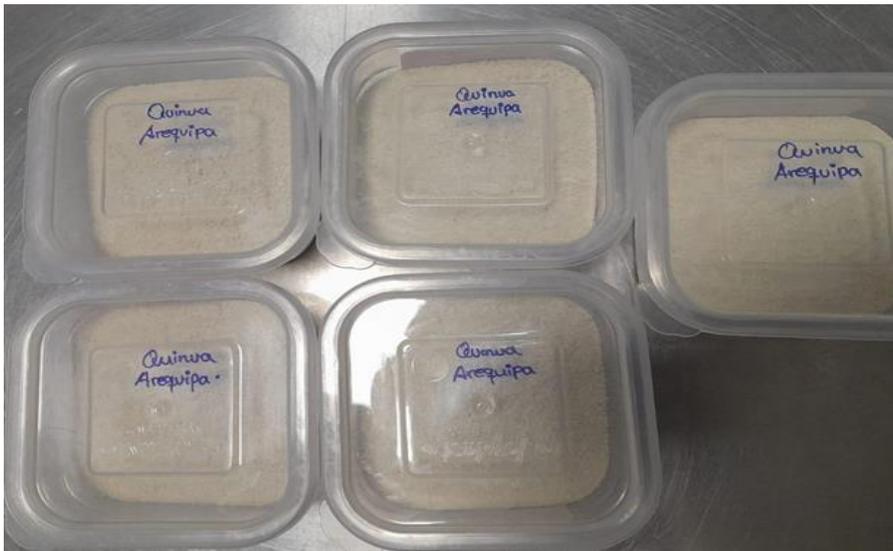


Figura 4. Muestra de quinua, región Arequipa.



**Figura 5.** Muestra de quinua, región Cajamarca.



**Figura 6.** Muestra de quinua, región Áncash.



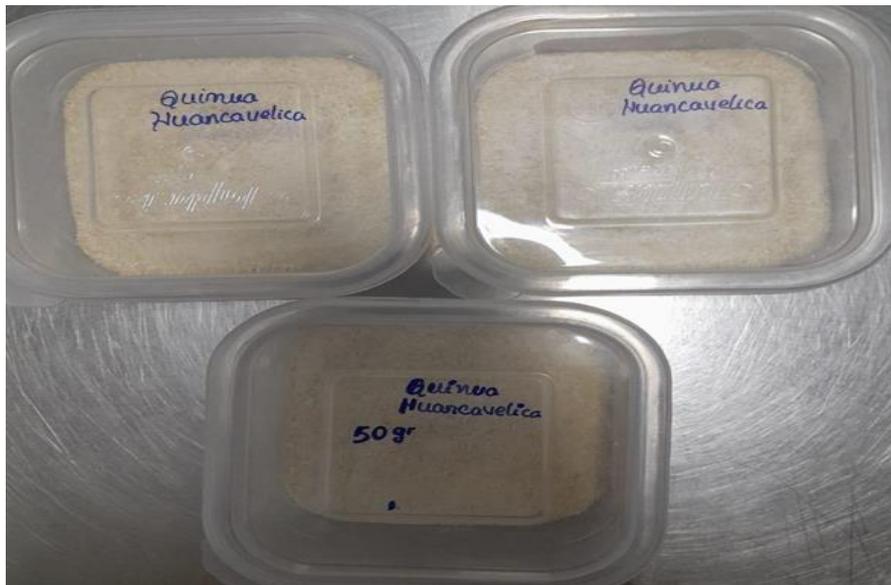
**Figura 7.** Muestra de quinua, región Apurímac.



**Figura 8.** Muestra de quinua, región Libertad.



**Figura 9.** Muestra de quinua, región Junín.



**Figura 10.** Muestra de quinua, región Huancavelica.



**Figura 11.** Muestra de quinua, región Amazonas.



**Figura 12.** Muestras de quinua ya molidas, rotuladas y envasadas para ser llevadas al laboratorio