

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



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS PARA OBTENER  
EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERA AMBIENTAL**

**EVALUACIÓN DE METALES PESADOS EN GRANOS DE  
CAFÉ PRODUCIDOS EN LA REGIÓN SAN MARTÍN,  
PERÚ**

**Autora: Bach. Lucy Estela Aguirre Terrones**

**Asesores:**

**M. Sc. :Grobert Amado Guadalupe Chuqui**

**M. Sc. :Segundo Grimaldo Chavez Quintana**

**Dr. : Erick Stevinsonn Arellanos Carrión**

**Registro: (.....)**

**CHACHAPOYAS - PERÚ**

**2023**

# AUTORIZACIÓN 1 DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL



UNTRM

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

## ANEXO 3-H

### AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM

#### 1. Datos de autor 1

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): AGUIRRE TERRONES LUCY ESTELA  
DNI N°: 72812934  
Correo electrónico: 7281293442@untrm.edu.pe  
Facultad: INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
Escuela Profesional: INGENIERÍA AMBIENTAL

#### Datos de autor 2

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): \_\_\_\_\_  
DNI N°: \_\_\_\_\_  
Correo electrónico: \_\_\_\_\_  
Facultad: \_\_\_\_\_  
Escuela Profesional: \_\_\_\_\_

#### 2. Título de la tesis para obtener el Título Profesional

EVALUACIÓN DE METALES PESADOS EN GRANOS DE CAFÉ PRODUCIDOS EN LA REGIÓN SAN MARTÍN, PERÚ

#### 3. Datos de asesor 1

Apellidos y nombres: GUADALUPE CHUQUI GROBERT AMADO  
DNI, Pasaporte, C.E N°: 44143035  
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>) <https://orcid.org/0000-0001-7238-4291>

#### Datos de asesor 2

Apellidos y nombres: CHAVEZ QUINTANA SEGUNDO GRIMALDO  
DNI, Pasaporte, C.E N°: 44011631  
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>) <https://orcid.org/0000-0002-0946-3445>

#### 4. Campo del conocimiento según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos- OCDE (ejemplo: Ciencias médicas, Ciencias de la Salud-Medicina básica- Inmunología)

[https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde\\_ford.html](https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html)  
2.II.00.- OTRAS INGENIERÍAS, OTRAS TECNOLOGÍAS 2.II.01.- ALIMENTOS Y BEBIDAS

#### 5. Originalidad del Trabajo

Con la presentación de esta ficha, el(la) autor(a) o autores(as) señalan expresamente que la obra es original, ya que sus contenidos son producto de su directa contribución intelectual. Se reconoce también que todos los datos y las referencias a materiales ya publicados están debidamente identificados con su respectivo crédito e incluidos en las notas bibliográficas y en las citas que se destacan como tal.

#### 6. Autorización de publicación

El(los) titular(es) de los derechos de autor otorga a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), la autorización para la publicación del documento indicado en el punto 2, bajo la *Licencia creative commons* de tipo BY-NC: Licencia que permite distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial por lo que la Universidad deberá publicar la obra poniéndola en acceso libre en el repositorio institucional de la UNTRM y a su vez en el Registro Nacional de Trabajos de Investigación-RENATI, dejando constancia que el archivo digital que se está entregando, contiene la versión final del documento sustentado y aprobado por el Jurado Evaluador.

Chachapoyas, 10 / MAYO / 2023

Firma del autor 1

Firma del Asesor 1

Firma del autor 2

Firma del Asesor 2

# AUTORIZACIÓN 2 DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL



## ANEXO 3-H

### AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM

#### 1. Datos de autor 1

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): AGUIRRE TERRONES LUCY ESTELA  
DNI N°: 72312934  
Correo electrónico: 7231293442@untrm.edu.pe  
Facultad: INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
Escuela Profesional: INGENIERÍA AMBIENTAL

#### Datos de autor 2

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): \_\_\_\_\_  
DNI N°: \_\_\_\_\_  
Correo electrónico: \_\_\_\_\_  
Facultad: \_\_\_\_\_  
Escuela Profesional: \_\_\_\_\_

#### 2. Título de la tesis para obtener el Título Profesional

EVALUACIÓN DE METALES PESADOS EN GRANOS DE CAFÉ PRODUCIDOS EN LA REGIÓN SAN MARTÍN, PERU

#### 3. Datos de asesor 1

Apellidos y nombres: ARELLANOS CARRIÓN ERICK STEVINSONN  
DNI, Pasaporte, C.E N°: 44542645  
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>): <https://orcid.org/0000-0003-4665-7262>

#### Datos de asesor 2

Apellidos y nombres: \_\_\_\_\_  
DNI, Pasaporte, C.E N°: \_\_\_\_\_  
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>): \_\_\_\_\_

#### 4. Campo del conocimiento según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos- OCDE (ejemplo: Ciencias médicas, Ciencias de la Salud-Medicina básica-Inmunología)

2.11.00.- OTRAS INGENIERIAS, OTRAS TECNOLOGIAS 2.11.01.- ALIMENTOS Y BEBIDAS

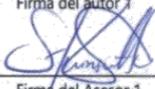
#### 5. Originalidad del Trabajo

Con la presentación de esta ficha, el(la) autor(a) o autores(as) señalan expresamente que la obra es original, ya que sus contenidos son producto de su directa contribución intelectual. Se reconoce también que todos los datos y las referencias a materiales ya publicados están debidamente identificados con su respectivo crédito e incluidos en las notas bibliográficas y en las citas que se destacan como tal.

#### 6. Autorización de publicación

El(los) titular(es) de los derechos de autor otorga a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), la autorización para la publicación del documento indicado en el punto 2, bajo la *Licencia creative commons* de tipo BY-NC. Licencia que permite distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial por lo que la Universidad deberá publicar la obra poniéndola en acceso libre en el repositorio institucional de la UNTRM y a su vez en el Registro Nacional de Trabajos de Investigación-RENATI, dejando constancia que el archivo digital que se está entregando, contiene la versión final del documento sustentado y aprobado por el Jurado Evaluador.

Chachapoyas, 10 / MAYO / 2023

  
\_\_\_\_\_  
Firma del autor 1  
  
\_\_\_\_\_  
Firma del Asesor 1

\_\_\_\_\_  
Firma del autor 2  
\_\_\_\_\_  
Firma del Asesor 2

## **DEDICATORIA**

Dedico esta Tesis a mis padres, Alejandro Marcial Aguirre Sánchez y Segunda Juana Terrones Cotrina, por brindarme su apoyo incondicional tanto en la parte moral y económica, me han dado todo lo que soy como persona; mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño.

A mis hermanos (Jesper, Yorgen, Araceli); por el apoyo que siempre me brindaron día a día en el trascurso de cada año de mi carrera Universitaria.

**Lucy Estela Aguirre Terrones**

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, a Dios, ser divino por darme la vida y guiar mis pasos día a día.

A mis padres, hermanos, amigos, gracias por brindarme su apoyo incondicional y por estar presente en los momentos buenos y malos de mi vida.

A mis asesores M.Sc. Grobert Amado Guadalupe Chuqui; M.Sc. Segundo Grimaldo Chavez Quintana y Dr.. Erick Stevinnson Arellanos Carrión por su tiempo, dedicación y paciencia durante el desarrollo y culminación de la presente tesis.

A la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas y docentes universitarios, por contribuir con mi formación profesional durante el periodo universitario.

**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 CIVIL Y AMBIENTAL**

## VISTO BUENO DEL ASESOR 1 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 EVALUACIÓN DE METALES PESADOS EN GRANOS DE CAFÉ PRODUCIDOS EN LA REGIÓN SAN MARTÍN, PERÚ del egresado LUCY ESTELA AGUIRRE TERRONES de la Facultad de INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL 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, 10 de MAYO de 2023



Firma y nombre completo del Asesor  
GROBERT AMADO GUADALUPE  
CHUQUI

## VISTO BUENO DEL ASESOR 2 DE LA TESIS



**UNTRM**

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

### ANEXO 3-L

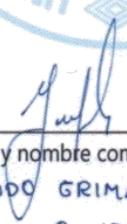
#### VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo ( ), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada EVALUACIÓN DE METALES PESADOS EN GRANOS DE CAFÉ PRODUCIDOS EN LA REGIÓN SAN MARTÍN, PERÚ del egresado LUCY ESTELA AGUIRRE TERRONES de la Facultad de INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL Escuela Profesional de INGENIERIA 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, 10 de MAYO de 2023



  
Firma y nombre completo del Asesor  
**SEGUNDO GRIMALDO CHAVEZ  
QUINTANA**

## VISTO BUENO DEL ASESOR 3 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 EVALUACIÓN DE METALES PESADOS EN GRANOS DE CAFÉ PRODUCIDOS EN LA REGIÓN SAN MARTÍN, PERÚ del egresado LUCY ESTELA AGUIRRE TERRONES de la Facultad de INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL 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, 10 de MAYO de 2023



Firma y nombre completo del Asesor

**ERICK STEVINSODNN ARELLANOS  
CARRIÓN**

## JURADO EVALUADOR DE LA TESIS



---

Dra. Martha Steffany Calderón Ríos

**PRESIDENTE**



---

MSc. Gino Alfredo Vergara Medina

**SECRETARIO**



---

Ing. Eli Morales Rojas

**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 DE METALES PESADOS EN GRANOS DE CAFÉ PRODUCIDOS  
EN LA REGIÓN SAN MARTÍN, PERÚ

presentada por el estudiante ( )/egresado (x) LUCY ESTELA AGUIRRE TERRONES

de la Escuela Profesional de INGENIERIA AMBIENTAL

con correo electrónico institucional 7281293442@untrm.edu.pe

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

- La citada Tesis tiene 25 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor ( ) / igual (x) 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, 27 de Septiembre del 2023

SECRETARIO

PRESIDENTE

VOCAL

OBSERVACIONES:

.....  
.....

# 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 12 de octubre del año 2023, siendo las 17:00 horas, el aspirante: Aguirre Terrones Lucy Estela, asesorado por M.Sc. Grobert Guadalupe Chuqui y M.Sc. Segundo Chavez Quintana y Dr. Erick Arellano Carrion defiende en sesión pública presencial () / a distancia ( ) la Tesis titulada: Evaluación de metales pesados en granos de café producidos en la región San Martín, Perú, para obtener el Título Profesional de Ingeniera Ambiental, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: Dra Martha Steffany Calderón Rios  
Secretario: M.Sc. Gino Alfredo Vergara Medina  
Vocal: Mg. Eli Morales Rojas

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.

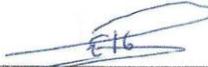
Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

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 18:00 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 O CONTENIDO GENERAL

AUTORIZACIÓN 1 DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL.....	ii
AUTORIZACIÓN 2 DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS .....	vi
VISTO BUENO DEL ASESOR 1 DE LA TESIS .....	vii
VISTO BUENO DEL ASESOR 2 DE LA TESIS .....	viii
VISTO BUENO DEL ASESOR 3 DE LA TESIS .....	ix
JURADO EVALUADOR DE LA TESIS.....	x
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS.....	xi
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS.....	xii
ÍNDICE O CONTENIDO GENERAL.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xvi
RESUMEN .....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
I. INTRODUCCIÓN.....	19
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
2.1. Diseño de la investigación.....	23
2.2. Población, muestra y muestreo .....	23
2.3. Método .....	24
2.3.1. Determinación de metales pesados por Espectrofotometría de emisión atómica de plasma de microondas (MP-AES) .....	24
2.4. Técnicas y procedimientos de recolección de datos .....	29
2.5. Procedimiento de análisis de metales pesados .....	30
2.5.1. Preparación de la muestra .....	30
2.5.2. Determinación de Plomo, Cadmio, Arsénico, Cromo, Mercurio .....	31
2.6. Análisis de Datos.....	31
III. RESULTADOS .....	32

<b>3.1.</b>	<b>Contenido de metales pesados por distrito de procedencia .....</b>	<b>32</b>
<b>3.2.</b>	<b>Contenido de metales pesados por provincia de procedencia .....</b>	<b>33</b>
<b>3.3.</b>	<b>Contenido de metales pesados por variedad .....</b>	<b>35</b>
<b>3.4.</b>	<b>Contenido de metales pesados por sistema de producción .....</b>	<b>36</b>
<b>3.5.</b>	<b>Índice de calidad de contenido de metales pesados .....</b>	<b>37</b>
<b>IV.</b>	<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>39</b>
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>43</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>43</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>46</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>54</b>
	<b>ANEXO 01.- MUESTRAS RECOLECTADAS DE CAFÉ – SAN MARTÍN.....</b>	<b>54</b>
	<b>ANEXO 02.- CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS (PLOMO, CADMIO, ARSÉNICO, CROMO, MERCURIO) .....</b>	<b>56</b>
	<b>ANEXO 03. - TOMAS FOTOGRÁFICAS.....</b>	<b>63</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Producción de café de la región de San Martín. ....	23
<b>Tabla 2.</b> Número de muestras de café recolectadas en función del porcentaje de la producción a nivel provincial respecto a la producción regional. ....	24
<b>Tabla 3.</b> Calibración completa de Plomo. ....	25
<b>Tabla 4.</b> Calibración completa de Cadmio.....	25
<b>Tabla 5.</b> Calibración completa de Arsénico.....	26
<b>Tabla 6.</b> Calibración completa de Cromo .....	27
<b>Tabla 7.</b> Calibración completa de Mercurio. ....	28
<b>Tabla 8.</b> Contenido de metales pesados por distrito de procedencia .....	32
<b>Tabla 9.</b> Contenido de metales pesados por provincia de procedencia.....	34
<b>Tabla 10.</b> Contenido de metales pesados por variedad de café.....	35
<b>Tabla 11.</b> Contenido de metales pesados por sistema de producción.....	36
<b>Tabla 12.</b> Muestras recolectadas de café de la región de San Martín.....	54
<b>Tabla 13.</b> Concentración de Plomo en granos de café.....	56
<b>Tabla 14.</b> Concentración de Cadmio en granos de café.....	57
<b>Tabla 15.</b> Concentración de Arsénico en granos de café.....	59
<b>Tabla 16.</b> Concentración de Cromo en granos de café.....	60
<b>Tabla 17.</b> Concentración de Mercurio en granos de café.....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Curva de calibración de Plomo. ....	25
<b>Figura 2.</b> Curva de Calibración de Cadmio. ....	26
<b>Figura 3.</b> Curva de calibración de Arsénico .....	27
<b>Figura 4.</b> Curva de calibración de Cromo.....	28
<b>Figura 5.</b> Curva de calibración de Mercurio .....	29
<b>Figura 6.</b> Metodología aplicada en el análisis de metales pesados.....	30
<b>Figura 7.</b> Contenido de metales pesados por distrito de procedencia.....	33
<b>Figura 8.</b> Contenido de metales pesados por provincia de procedencia .....	34
<b>Figura 9.</b> Contenido de metales pesados por variedad de café .....	36
<b>Figura 10.</b> Contenido de metales pesados por sistema de producción.....	37
<b>Figura 11.</b> Índice de calidad de contenido de los metales pesados.....	38

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la concentración de metales pesados (Plomo, Cadmio, Arsénico, Cromo, Mercurio) en granos de café producidos en la región de San Martín, Perú. Se recolectó 27 muestras de granos de café pergamino de la especie arábica (variedades: Bourbon, Típica, Catimor, Caturra y Pache) que fueron adquiridas de diferentes fincas cafetaleras pertenecientes a 3 principales provincias productoras de café de la región de San Martín: Moyobamba (n=14), Rioja (n=7) y Lamas (n=6). El método utilizado para dicho análisis fue la Espectroscopia de Emisión Atómica de plasma de microondas (MP-AES). El análisis estadístico con el que se trabajó fue el ANOVA, se empleó la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ). Los resultados indicaron que no se detectó presencia de Mercurio en ninguna de las muestras analizadas. Se detectó presencia de Cadmio en el 7% de las muestras analizadas, sin embargo, los valores de Cd estuvieron dentro de los Límites Máximos dados por la MERCOSUR. Finalmente, en todas las muestras se encontraron concentraciones de As, Pb y Cr, que superaron el límite máximo permitido.

**Palabras clave:** café arábico, metales pesados, región San Martín.

## **ABSTRACT**

The objective of this investigation was to determine the concentration of heavy metals (Lead, Cadmium, Arsenic, Chromium, Mercury) in coffee beans produced in the region of San Martín, Peru. Twenty-seven samples of Arabica parchment coffee beans (varieties: Bourbon, Típica, Catimor, Caturra and Pache) were collected from different coffee farms belonging to 3 main coffee-producing provinces in the San Martín region: Moyobamba (n=14), Rioja (n=7) and Lamas (n=6). The method used for said analysis was Microwave Plasma Atomic Emission Spectroscopy (MP-AES). The statistical analysis used was ANOVA, using the Tukey test ( $p < 0.05$ ). The results showed no presence of Mercury in the analyzed samples. The presence of Cadmium was detected only in 7% of the analyzed samples, however, the Cd values were within the Maximum Limits given by MERCOSUR. Finally, the heavy metals As, Pb and Cr were found in all the analyzed samples, which concentration exceeded the maximum allowed limit.

**Keywords:** Arabica coffee, heavy metals, San Martín region.

## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, el café en el Perú viene siendo uno de los principales productos agrícolas de exportación (Bravo et al., 2016), debido a su importancia económica y gran demanda en los mercados internacionales (Ho et al., 2018). Los principales nodos de producción se concentran en los departamentos de Junín, San Martín, Cajamarca, Cusco, Amazonas y Huánuco (Díaz & Carmen, 2017), de los cuales, la mayor producción se encuentra en el norte, seguido por el centro y como menor productor la parte sur (Cámara Peruana de Café y Cacao [CPCC], 2022). Al-Abdulkader et al. (2017) argumentan que estos cultivos traen consigo un crecimiento económico positivo y generan puestos de empleo para la mayoría de los países productores incluidos Perú. Sin embargo, la alta demanda del café a nivel mundial obliga a los productores a aumentar su productividad y competitividad, trayendo consigo diversos impactos negativos ambientales en el alimento, agua, suelo, aire y hombre por la aplicación de tecnologías insostenibles (Robledo, 2020). Los contaminantes químicos, como los metales pesados (Cd, Hg, Pb y As), metaloides, plaguicidas son introducidos en el suelo y las plantas a causa de las actividades antropogénicas y actividades industriales. La gran mayoría de metales pesados, en especial el cadmio, el arsénico y el plomo, están presentes de manera natural en el suelo en forma de minerales con diferentes niveles de concentración (Condezo & Huaraca, 2018). Por otro lado, Londoño et al. (2016) mencionan que el origen del arsénico, plomo y mercurio en los alimentos se debe al uso de insecticidas y desinfectantes. Asimismo, la cantidad de contaminantes en los productos alimenticios están relacionados con el tipo de sistemas de producción que se utiliza dentro del cultivo (Cruz et al., 2011). Bravo et al. (2016) mencionan dos sistemas de producción dentro del cultivo de café, los convencionales no certificados (NC), que hacen uso de fertilizantes sintéticos, y los sistemas certificados (CE). Si bien los fertilizantes aportan nutrientes al terreno para el desarrollo de las plantas, también pueden llegar a contaminar el suelo, ya que concentran metales pesados en su composición (Viñan, 2019). Martí et al. (2002) en su investigación encontraron altas concentraciones de plomo, cadmio y arsénico en fertilizantes fosfatados. Además, Lorenzo y Pico (2017) argumentaron que, de los productores existentes, el 47% recurren a sistemas convencionales de uso de productos químicos; el 38% hacen uso de los sistemas de transición I herbicidas, pero con control mecánico y solo el 15% usan sistemas de transición II uso de suministros orgánicos.

Mero et al. (2019) argumentan que en Ecuador el cadmio se encuentra presente en el agua utilizada para la irrigación de cultivos, mientras que Tezotto et al. (2012) demuestran que los metales pesados van en aumento debido a la utilización de lodos de depuradora como fertilizantes. En consecuencia, los contaminantes químicos en general pueden estar presentes como toxinas producidas en el metabolismo de plantas o por contaminación externa debido a las prácticas agrícolas desarrolladas, al crecimiento de hongos, al ambiente o los procesos de fabricación de los alimentos (Stroheker et al., 2019). Otra forma de acumulación de los metales pesados en las plantas es a través de la absorción de la raíz, tallos y hojas por vía apoplástica y simplástica; el transporte a través del xilema y la distribución a los tejidos del sumidero sobre el suelo (Song et al., 2017). Los metales se trasladan del suelo hacia los granos a través de nodos de las plantas, por lo que es considerado un excelente conductor (Fujimaki et al., 2010). Sin embargo, la adsorción y distribución de estos metales depende del tipo de producto estudiado (Margenat et al., 2019). Por ejemplo, en el tomate, el Cd y el Na se acumulan principalmente en las raíces, hojas y poco en frutos (Monteiro et al., 2011).- En el arroz, el Zn, Fe y Cd se acumula mediante la traslocación de raíces a brotes a través del sistema de transporte del xilema a floema y opera en nodos de tallos. Este sistema viene a ser el principal proceso fisiológico que determina el nivel de acumulación en los brotes de las plantas y los granos (Uraguchi et al., 2009; Yoneyama et al., 2015). En las plantas de café, el cadmio tiende a ser absorbido mayormente cuando el suelo presenta un pH bajo (Condezo y Huaraca, 2018).

Dado los problemas que representan los metales pesados para las plantas y, en consecuencia, los riesgos a las personas por consumo, hoy en día existe gran diversidad de estudios sobre la tolerancia de éstos en plantas de café (Tezotto et al., 2012). Sin embargo, se desconoce qué cantidad de éstos contaminantes se encuentran presentes en los alimentos (Fu et al., 2017). Frente a ello, se menciona que se debería desarrollar más experimentos que se centren en la concentración de estos y sus posibles efectos adversos (Garg et al., 2021). Los metales pesados se agrupan en tóxicos (Pb, Cd, Ni, As y Hg) y esenciales (Fe, Zn, Cu, Mn y Cr) según su naturaleza, de estos últimos los más dañinos si se presentan en elevadas concentraciones se encuentran en el siguiente orden Cr, Cu, Fe, Mn (Gure et al., 2017). Por otro lado, Margenat et al. (2019) en su investigación argumentaron que la salud de las personas no estaría siendo afectadas por el consumo de hortalizas con presencia de contaminantes en lugares adyacentes a zonas urbanas, empero, es necesario precisar el efecto potencial en la salud humana con mayor

investigación. Petersen et al. (2020) realizaron una caracterización de riesgo de diferentes contaminantes en varios grupos de personas, logrando demostrar que todos los grupos de personas se ven afectadas por dioxinas y bifenilos policlorados, arsénico inorgánico y plomo, resaltando que las personas que tienen una dieta más conforme a las pautas dietéticas presentan mayor riesgo de exposición a enfermedades. De tal manera, para poder garantizar un producto saludable y, además, que no cause daños a la salud de las personas es necesario que se realice un monitoreo continuo de los contaminantes químicos en los alimentos (Stroheker et al., 2019), teniendo en cuenta que, existen normativas que regulan el nivel de concentración de estos contaminantes en los alimentos. Se establecieron Límites Máximos Permisibles (LMP) para metales pesados en granos de café (Plomo 1.00 ppm, Cadmio 0.20 ppm, Arsénico 0.50 ppm, Mercurio 0.02 ppm) dados por la MERCOSUR (2011) y la Comisión Europea 73, (2018). En cambio, para la concentración de Cromo en granos de café, no se han especificado legalmente niveles máximos, pero sí existe un valor máximo permitido en alimentos generales que sería de 0.10 ppm para el Cromo (da Silva et al., 2017).

Existe gran demanda de métodos analíticos que se emplean en la detección y cuantificación de los contaminantes y residuos en alimentos de manera confiable (Hird et al., 2014). En Brasil, dos Santos et al. (2009), mediante espectrometría de absorción atómica (FAAS), determinaron altos niveles de concentración de Cd, Zn y Cu en cafés. En Turquía, Şaylan et al. (2020) a través de la técnica de FAAS y adicionado el método de micro extracción líquido – líquido, determinaron que las trazas encontradas de Níquel tanto en las muestras de café como en muestras de té de manzanilla superaban los LMP. Zhan et al. (2020), utilizando la misma técnica, analizaron contaminantes químicos orgánicos con bajo peso molecular en proteínas en polvo, teniendo buenos resultados de validación y presentando una garantía de seguridad a futuro sobre dichas proteínas. Otro método que también se ha vuelto confiable para monitorear la calidad de los alimentos es la espectroscopia de emisión atómica (AES) (Thirumdas, et al., 2019). Por lo expuesto, y con la finalidad de fomentar la inocuidad del café, se ha visto necesario determinar la concentración de metales pesados presentes en granos de café producidos en el Departamento de San Martín, Perú; mediante el uso del espectrofotómetro de plasma de microondas; para lo que se plantearon los siguientes objetivos específicos: 1) Determinar la concentración de metales pesados (Plomo, Cadmio, Arsénico, Cromo, Mercurio) en granos de café producidos en la región de San Martín, Perú; y 2) Evaluar la inocuidad de

los granos de café producidos en la región de San Martín, Perú según normativas alimentarias nacionales e internacionales.

## II. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Diseño de la investigación

Investigación de nivel básico, descriptiva y no experimental.

### 2.2. Población, muestra y muestreo

#### **Población**

La población de estudio son los granos de café de las fincas cafetaleras del departamento de San Martín, pertenecientes a las provincias que producen tradicionalmente grandes cantidades de café. Se ha considerado trabajar en este departamento puesto que es la primera región a nivel nacional que concentra mayor cantidad de productores de café, y primera a nivel Nor oriente; representando un 22.2 del porcentaje a nivel nacional (Tabla 1).

**Tabla 1.** Producción de café en la región de San Martín.

<b>Región</b>	<b>Unidades productoras</b>	<b>Hectáreas cultivadas (Ha)</b>	<b>Porcentaje de la producción nacional</b>
San Martín	49 309	93,688	22.2%

Fuente: Díaz y Carmen, (2017).

#### **Muestra**

El estudio incluyó 27 muestras de café pergamino de la especie arábica (variedades: Bourbon, Típica, Catimor, Caturra y Pache). Las muestras fueron adquiridas de diferentes fincas cafetaleras pertenecientes a 3 principales provincias productoras de café de la región de San Martín: Moyobamba (n=14), Rioja (n=7) y Lamas (n=6); se consideró además que estas muestras fuesen procedentes de varios distritos como se muestra en la tabla 2.

**Tabla 2.** Número de muestras de café recolectadas en función del porcentaje de la producción a nivel provincial respecto a la producción regional.

<b>Porcentaje de la producción provincial (respecto a la producción regional)</b>		<b>Número de Muestras por distrito</b>	
6.7%	Moyobamba = 14	Jepelacio	8
		Soritor	3
		Moyobamba	3
3.4%	Rioja = 7	Pardo Miguel	4
		Nueva Cajamarca	2
		Awajun	1
3 %	Lamas = 6	Alonso de Alvarado	1
		Lamas	5

### **Muestreo**

Se realizó un muestreo no probabilístico y estratificado por conveniencia para la designación de puntos de recolecta de las muestras. De cada finca cafetalera elegida se recolectó 1 kg de muestra de café pergamino.

### **2.3. Método**

#### **2.3.1. Determinación de metales pesados por Espectrofotometría de emisión atómica de plasma de microondas (MP-AES)**

La introducción de las muestras se realizó de forma manual, con 3 réplicas.

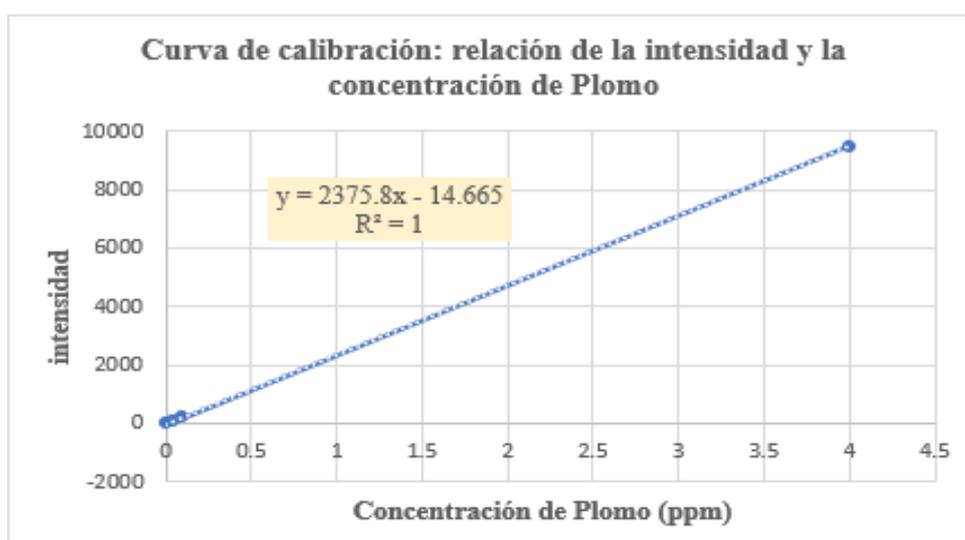
##### **a) Calibración**

Esta curva de calibración se realizó en el Espectrofotómetro de plasma de microondas ubicado en el Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas (LABISAG), del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza (UNTRM). La calibración se realizó para cada elemento (Plomo, Cadmio, Arsénico, Cromo y Mercurio) como se detalla a continuación:

- **Plomo**

**Tabla 3.** Calibración completa de Plomo.

Muestra Etiquetada	Concentración Pb (ppm)	Intensidad
Cal Blanco	0	0
Estándar 1	0.05	104.74
Estándar 2	0.1	207.25
Estándar 3	4	9488.86

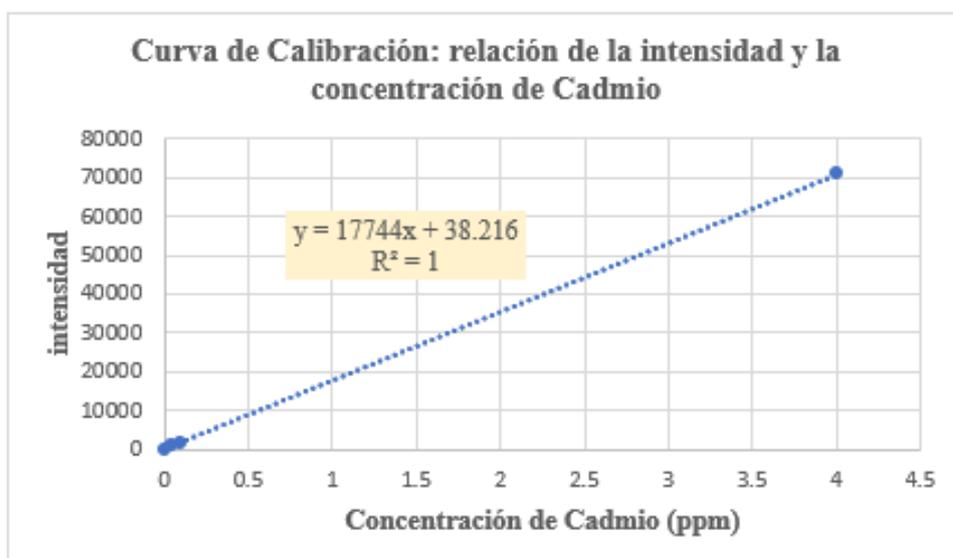


**Figura 1.** Curva de calibración de Plomo

- **Cadmio**

**Tabla 4.** Calibración completa de Cadmio

Muestra Etiquetada	Concentración Cd (ppm)	Intensidad
Cal Blanco	0	0
Estándar 1	0.05	952.74
Estándar 2	0.1	1824.2
Estándar 3	4	71015.22

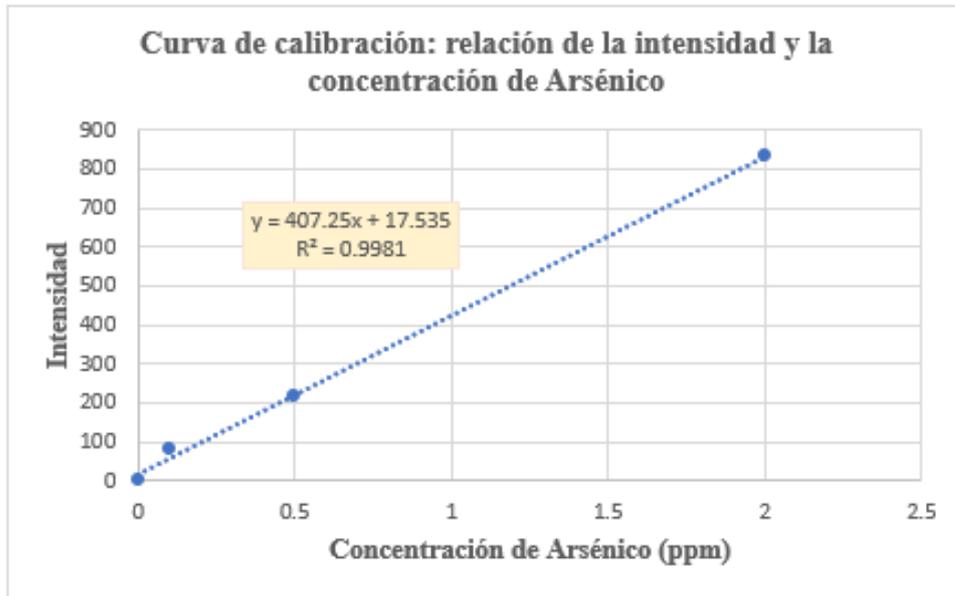


**Figura 2.** Curva de Calibración de Cadmio

- **Arsénico**

**Tabla 5.** Calibración completa de Arsénico

Muestra Etiquetada	Concentración As (ppm)	Intensidad
Cal Blanco	0	0
Estándar 1	0.1	80.2
Estándar 2	0.5	216.75
Estándar 3	2	832.04

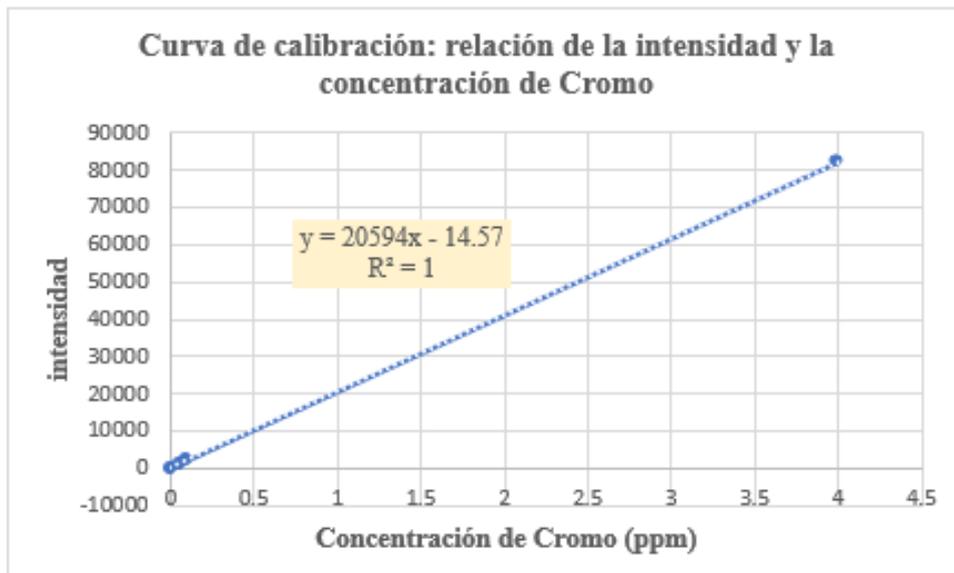


**Figura 3.** Curva de calibración de Arsénico

- **Cromo**

**Tabla 6.** Calibración completa de Cromo.

Muestra Etiquetada	Concentración Cr (ppm)	Intensidad
Cal Blanco	0	0
Estándar 1	0.05	1048.1
Estándar 2	0.1	1996.54
Estándar 3	4	82363.43

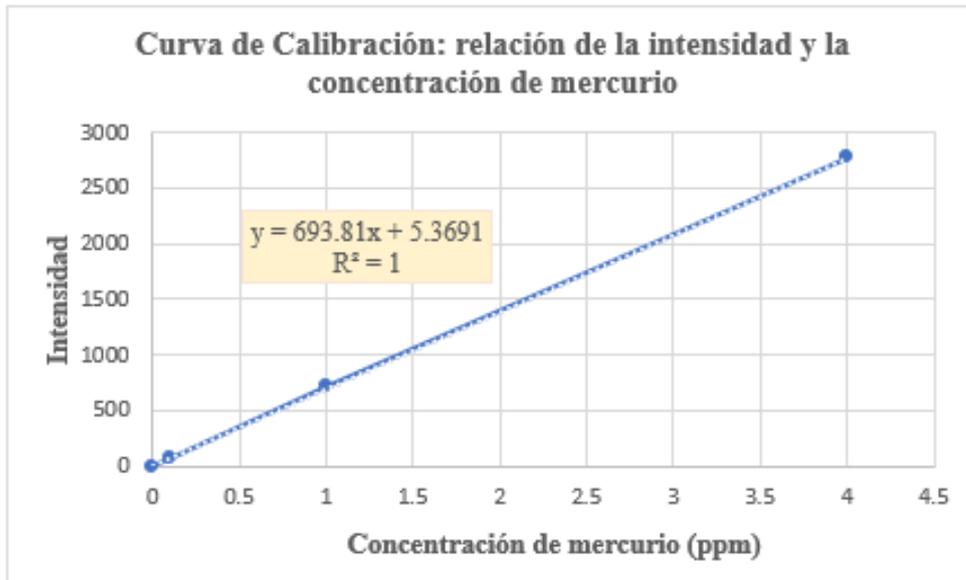


**Figura 4.** *Curva de calibración de Cromo*

- **Mercurio**

**Tabla 7.** *Calibración completa de Mercurio.*

Muestra Etiquetada	Concentración Hg (ppm)	Intensidad
Cal Blanco	0	0
Estándar 1	0.1	70.56
Estándar 2	1	711.79
Estándar 3	4	2777.58



**Figura 5.** *Curva de calibración de Mercurio*

#### **2.4. Técnicas y procedimientos de recolección de datos**

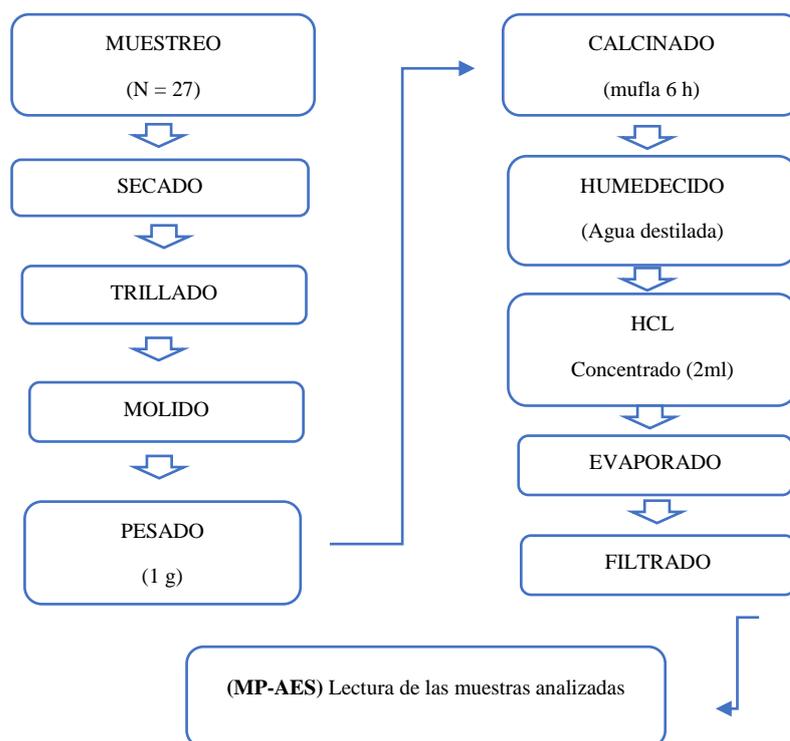
- **Toma de muestras en campo**

Las 27 muestras de los granos de café se recolectaron de las fincas que tradicionalmente producen grandes cantidades de café de los distritos de Jepelacio, Soritor, Moyobamba, Pardo Miguel, Nueva Cajamarca, Awajun, Alonso de Alvarado y Lamas del departamento de San Martín, Perú, (Anexo N° 01).

- **Procedimiento de recolección**

La recolección de las muestras se hizo en 2 grupos: una que fue solicitada en las cooperativas de café (Cooperativa APROECO, empresa de café PERHUSA “PERALES HUANCARUNA S.A.C” y Asociación productora de café) y el otro grupo que consistió en la recolección del mismo productor. Esta última, se realizó de acuerdo a los procedimientos descritos en el Manual Técnico de Muestreo de Productos Agrícolas para Determinación de Residuos de plaguicidas, con la finalidad de que las muestras no lleguen a contaminarse posteriores a su recolección.

## 2.5. Procedimiento de análisis de metales pesados



**Figura 6.** Metodología aplicada en el análisis de metales pesados.

### 2.5.1. Preparación de la muestra

Antes de la extracción, se trabajó en el Laboratorio de Café, del proyecto CEINCAFÉ, adscrito al Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES) – UNTRM; donde, a las muestras de grano de café recolectadas se les quitó la cascarilla con ayuda de la trilladora, luego estas muestras se molieron a una molienda estándar y se homogenizaron.

#### ▪ Extracción

Este procedimiento se realizó en los ambientes del Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas (LABISAG) - UNTRM. El método de extracción que se seleccionó para la determinación de metales pesados, fue el método 3050 de la US EPA (Carter, 1993), Digestión ácida, con ciertas modificaciones que se describen en el párrafo siguiente.

Se pesó 1 gramo de cada una de las muestras molidas y se transfirió a un crisol que fue rotulado con anterioridad para no obtener confusión entre muestras. Los crisoles ya con muestras de café se colocaron dentro de la mufla a una temperatura de 450 °C por 6 horas.

Concluido el tiempo indicado, se procedió a apagar el sistema y se dejó a que enfríe para poder remover el crisol. Una vez que ya se enfriaron los crisoles, se trabajó en la cámara extractora, humedeciendo la muestra calcinada con agua destilada, posterior a ello, se agregó 1 ml de HCl concentrado y se dejó evaporar el contenido por 1 hora. Trascurrido el tiempo indicado se agregó 1 ml de Agua destilada y 1 ml de HCl concentrado; el cual se dejó calentar por 1 hora a fin de permitir la disolución del contenido. Luego, las soluciones de las muestras mediante filtración se transfirieron a una fiola de 25 ml y se aforó con agua destilada para llevar el volumen a 25 ml para el análisis, quedando listos para realizar la lectura en el espectrofotómetro de plasma por microondas.

Todo el material de vidrio utilizado en dicho análisis después de ser lavado fue enjuagado con agua destilada y finalmente secado en estufa.

### **2.5.2. Determinación de Plomo, Cadmio, Arsénico, Cromo, Mercurio**

La espectroscopia de emisión atómica de plasma de microondas se realizó en un espectrofotómetro de plasma de microonda (Agilent 4100 MP-AES, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EE.UU.) equipado con una antorcha estándar, un nebulizador Inert One Neb y una cámara de pulverización ciclónica de vidrio de doble paso (Agilent Technologies). El nitrógeno se obtuvo del aire utilizando un generador de nitrógeno (Agilent 4107, Agilent Technologies). La velocidad de la bomba se fijó en 15 rpm. Antes de leer las muestras, se configuraron 12 s para el tiempo de consumo, 12 s para el tiempo de estabilización de la antorcha, 30 s para el tiempo de enjuagado. El tiempo de lectura fue de 5 s. La intensidad espectral fue la media de 3 lecturas repetidas por muestra. Se seleccionó la longitud de onda de detección de 228.802 nm para la cuantificación de Cd, 405.781 nm para la cuantificación de Pb, 193.695 nm para la cuantificación de As, 425.433 nm para la cuantificación de Cr y 253.652 nm para la cuantificación de Hg.

## **2.6. ANÁLISIS DE DATOS**

Para encontrar diferencias significativas en la concentración media de los metales analizados, entre los grupos (por distrito y provincia de procedencia, variedades de café y sistemas de producción del café) se realizó un ANOVA multivariante y la prueba de comparación de medias de Tukey (sig. = 0,05) empleando el software estadístico SPSS V.25.

### III. RESULTADOS

En este estudio se analizaron un total de 27 muestras de la especie arábica (variedades: bourbon, típica, catimor, caturra y pache), adquiridas de los distritos y provincias con mayor volumen de producción de café de la región San Martín del Perú, que representa el 22.2% de la producción nacional.

#### 3.1. Contenido de metales pesados por distrito de procedencia

En la tabla 8 se muestran los valores medios resultantes del análisis de varianza multifactorial (ANOVA), obtenidos para los metales pesados (As, Pb, Cd, Cr y Hg) por distrito de procedencia.

**Tabla 8.** Contenido de metales pesados por distrito de procedencia (mg/kg = ppm)

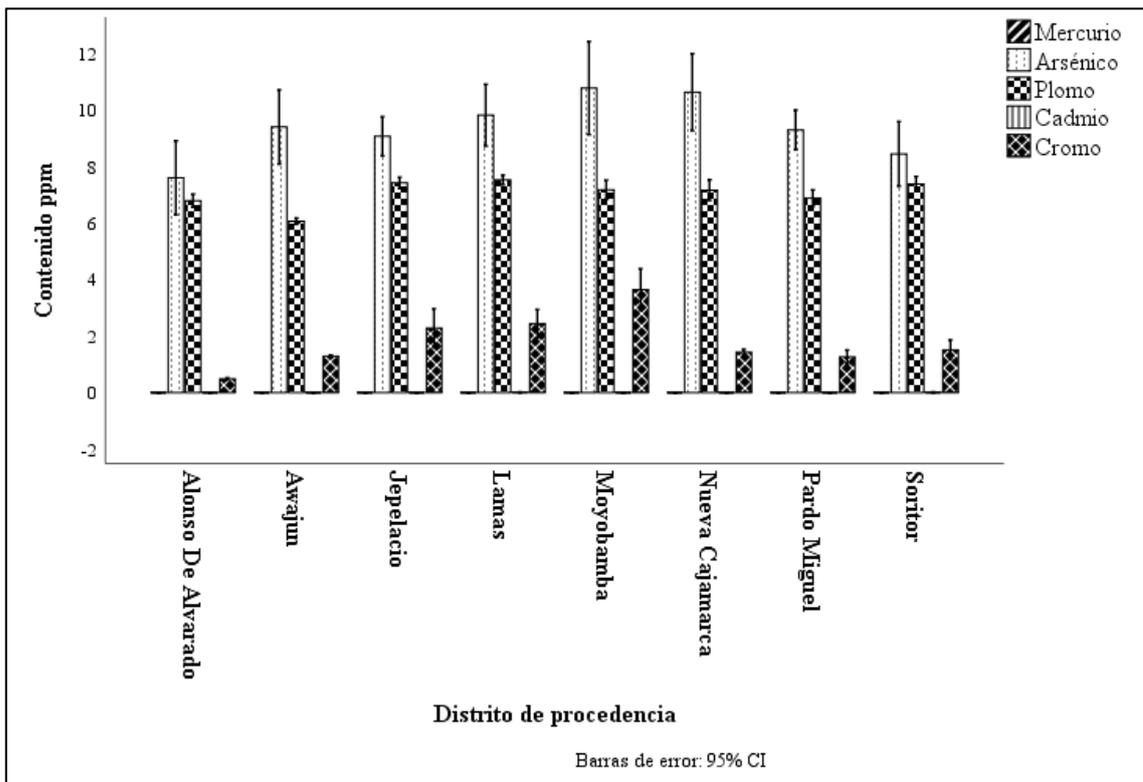
Distrito	Metales Pesados				
	As	Pb	Cd	Cr	Hg
Alonso de Alvarado	7.603±0.526 <sup>a</sup>	6.793±0.929 <sup>b</sup>	ND	0.487±0.015 <sup>a</sup>	ND
Awajun	9.400±0.528 <sup>ab</sup>	6.067±0.045 <sup>a</sup>	ND	1.293±0.015 <sup>ab</sup>	ND
Jepelacio	9.073±1.642 <sup>ab</sup>	7.423±0.478 <sup>cd</sup>	ND	2.286±1.616 <sup>cd</sup>	ND
Lamas	9.820±1.973 <sup>ab</sup>	7.527±0.303 <sup>d</sup>	0.013±0.027 <sup>a</sup>	2.443±0.906 <sup>d</sup>	ND
Moyobamba	10.777±2.144 <sup>b</sup>	7.180±0.445 <sup>bcd</sup>	ND	3.651±0.954 <sup>e</sup>	ND
Nueva Cajamarca	10.635±1.298 <sup>b</sup>	7.167±0.346 <sup>bcd</sup>	ND	1.430±0.100 <sup>abc</sup>	ND
Pardo Miguel	9.295±1.104 <sup>ab</sup>	6.885±0.453 <sup>bc</sup>	ND	1.267±0.380 <sup>ab</sup>	ND
Soritor	8.451±1.489 <sup>ab</sup>	7.384±0.346 <sup>cd</sup>	0.011±0.023 <sup>a</sup>	1.514±0.460 <sup>bcd</sup>	ND
Sig	0.017	0.000	0.106	0.000	-

ND: no detectado. Sig: nivel de significancia 5% ( $p < 0.05$ ). Para cada factor, letras diferentes (a, b, c, d, e) representan los subconjuntos homogéneos basándose en las medias observadas, lo que indica en qué grupos se encuentran las diferencias significativas obtenidas mediante Test de Tukey.

Los resultados de la comparación de medias entre distritos de procedencia, arrojan que existe diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95% en las concentraciones medias del Pb, Cr y As excepto Cd y Hg. La concentración media de Pb varió entre  $6.067 \pm 0.045$  mg/kg y  $7.527 \pm 0.303$  mg/kg, siendo la concentración más alta en el distrito de Lamas y la concentración más baja en el distrito de Awajun. La concentración más alta observada de Cr fue de  $3.651 \pm 0.954$  mg/kg perteneciente al distrito de Moyobamba y el valor más bajo fue de  $0.487 \pm 0.015$  mg/kg perteneciente al

distrito de Alonso de Alvarado. La mayor concentración de As  $10.777 \pm 2.144$  mg/kg se encontró en los granos de café procedentes del distrito de Moyobamba.

No se ha detectado presencia de Mercurio (Hg) en ninguna de las muestras analizadas por distrito y sólo se detectó Cadmio (Cd) en dos distritos (Lamas y Soritor) de la región San Martín con niveles medios de  $0.013 \pm 0.027$  mg/kg y  $0.011 \pm 0.023$  mg/kg. Si bien las medias de Cd tienen diferencias numéricas, no muestran significancia estadística entre distritos, ya que son parte de un mismo subconjunto homogéneo (a).



**Figura 7.** Contenido de metales pesados por distrito de procedencia

### 3.2. Contenido de metales pesados por provincia de procedencia

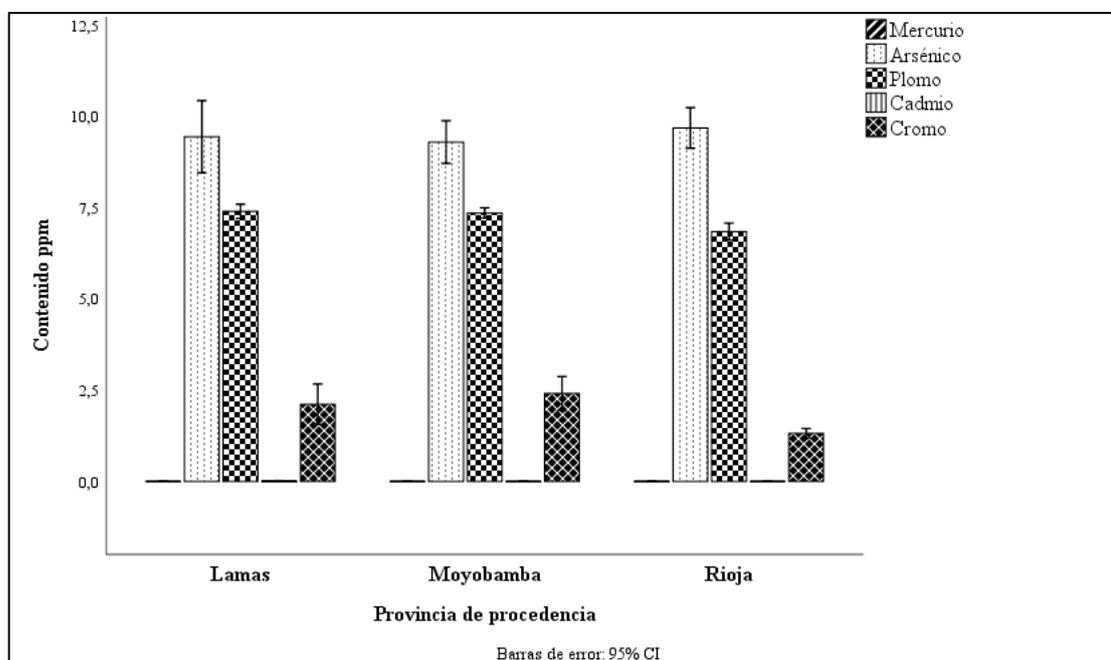
En la tabla 9 se muestran los valores medios resultantes del análisis de varianza multifactorial (ANOVA), obtenidos para los metales pesados (As, Pb, Cd, Cr y Hg) por provincia de procedencia.

**Tabla 9.** Contenido de metales pesados por provincia de procedencia (mg/kg = ppm)

Provincia	Metales Pesados				
	As	Pb	Cd	Cr	Hg
Moyobamba	9.035±1.873 <sup>a</sup>	7.363±0.445 <sup>b</sup>	0.002±0.011 <sup>ab</sup>	2.413±1.486 <sup>b</sup>	ND
Rioja	9.693±1.222 <sup>a</sup>	6.849±0.516 <sup>a</sup>	ND	1.318±0.295 <sup>a</sup>	ND
Lamas	9.451±1.990 <sup>a</sup>	7.405±0.395 <sup>b</sup>	0.011±0.025 <sup>b</sup>	2.117±1.113 <sup>b</sup>	ND
Sig	0.711	0.000	0.057	0.004	-

ND: no detectado. Sig: nivel de significancia 5% ( $p < 0.05$ ). Para cada factor, letras diferentes (a, b) representan los subconjuntos homogéneos basándose en las medias observadas, lo que indica en qué grupos se encuentran las diferencias significativas obtenidas mediante Test de Tukey.

En el contenido medio de As, Cd y Hg no hay diferencias estadísticamente significativas, mientras que en el contenido de Pb y Cr si existe diferencias significativas según la provincia de procedencia de las muestras. La concentración media de Pb más alta  $7.405 \pm 10.395$  mg/kg se registró en las muestras de café de la provincia de Lamas y la concentración media de Cr más elevada  $2.413 \pm 1.486$  mg/kg se registró en las muestras provenientes de la provincia de Moyobamba. No se ha detectado presencia de Hg en ninguna de las muestras y en la provincia de Rioja no se detectó Cd.



**Figura 8.** Contenido de metales pesados por provincia de procedencia

### 3.3. Contenido de metales pesados por variedad

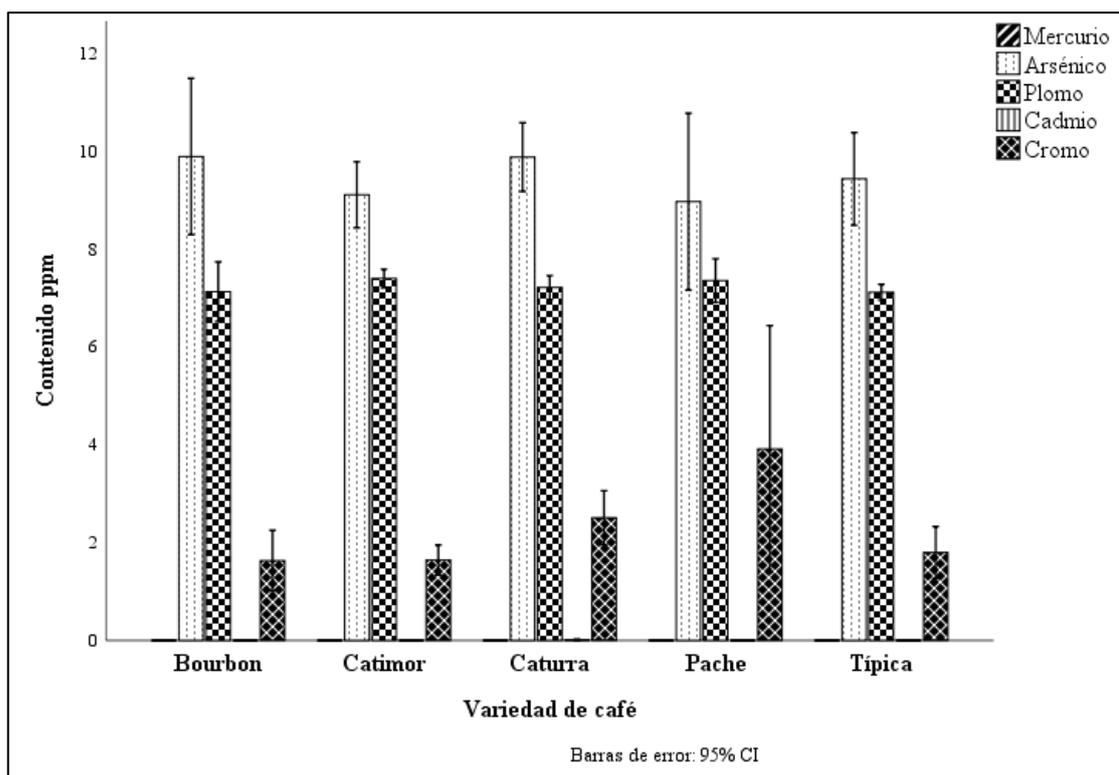
En la tabla 10 se muestran los valores medios resultantes del análisis de varianza multifactorial (ANOVA), obtenidos para los metales pesados (As, Pb, Cd, Cr y Hg) por variedad de café.

**Tabla 10.** *Contenido de metales pesados por variedad de café (mg/kg = ppm)*

Variedades de café	Metales Pesados				
	As	Pb	Cd	Cr	Hg
Bourbon	9.870±2.074 <sup>a</sup>	7.112±0.790 <sup>a</sup>	ND	1.628±0.015 <sup>a</sup>	ND
Catimor	9.090±0.701 <sup>a</sup>	7.081±0.477 <sup>a</sup>	ND	1.670±0.770 <sup>a</sup>	ND
Caturra	9.858±1.538 <sup>a</sup>	7.198±0.537 <sup>a</sup>	0.014±0.027 <sup>b</sup>	2.500±1.213 <sup>b</sup>	ND
Pache	8.950±1.718 <sup>a</sup>	7.340±0.425 <sup>a</sup>	ND	3.905±2.398 <sup>c</sup>	ND
Típica	9.414±1.900 <sup>a</sup>	7.103±0.325 <sup>a</sup>	ND	1.793±1.064 <sup>a</sup>	ND
Sig	0.515	0.362	0.005	0.000	-

ND: no detectado. Sig: nivel de significancia 5% ( $p < 0.05$ ). Para cada factor, letras diferentes (a, b, c) representan los subconjuntos homogéneos basándose en las medias observadas, lo que indica en qué grupos se encuentran las diferencias significativas obtenidas mediante Test de Tukey.

Los resultados mostraron que la diferencia entre las medias de As y Pb no es significativa, ya que todas pertenecen a un mismo subconjunto homogéneo (a); mientras que en las medias de Cr y Cd se observa que si existe diferencias estadísticamente significativas según la variedad de café. El valor medio más alto de Cr 3.905±2.398 ppm se presentó con la variedad Pache y el contenido de Cd solo se presentó con la variedad Caturra con un valor medio de 0.014±0.027 mg/kg. No se ha detectado presencia de Hg en ninguna de las muestras analizadas.



**Figura 9.** Contenido de metales pesados por variedad de café.

### 3.4. Contenido de metales pesados por sistema de producción

En la tabla 11 se muestran los valores medios resultantes del análisis de varianza multifactorial (ANOVA), obtenidos para los metales pesados (As, Pb, Cd, Cr y Hg) por sistema de producción (manejo que se le dio a las plantas de café).

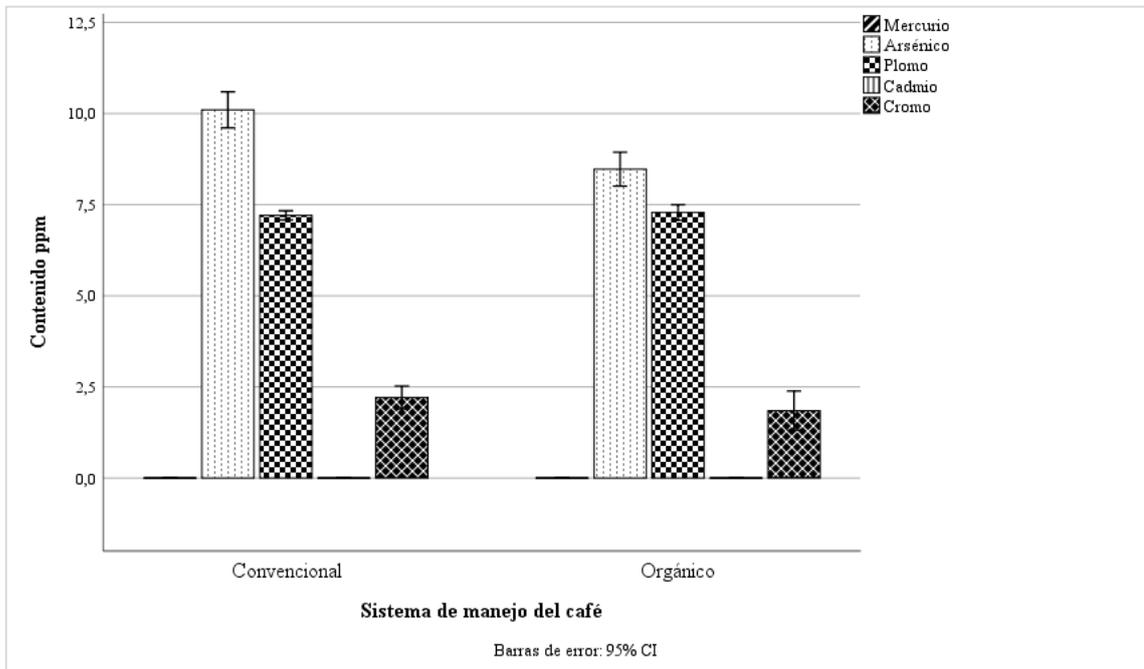
**Tabla 11.** Contenido de metales pesados por sistema de producción (mg/kg = ppm)

Sistema de producción	Metales Pesados				
	As	Pb	Cd	Cr	Hg
Convencional	10.100±1.703	7.206±0.432	0.004±0.161	2.210±1.075	ND
Orgánico	8.474±1.313	7.287±0.602	0.003±0.012	1.850±1.513	ND
Sig	0.000	0.485	0.781	0.213	-

ND: no detectado. Sig: nivel de significancia 5% ( $p < 0.05$ ).

En el contenido medio de Pb, Cd y Cr se observa que no existen diferencias estadísticamente significativas por sistema de producción, mientras que en el contenido de As si existe diferencias estadísticamente significativas, según el sistema de producción del café. Siendo el sistema convencional con el valor medio más alto de As 10.100±1.703

mg/kg (Figura 10). No se ha detectado presencia de Hg en ninguna de las muestras analizadas.



**Figura 10.** Contenido de metales pesados por sistema de producción.

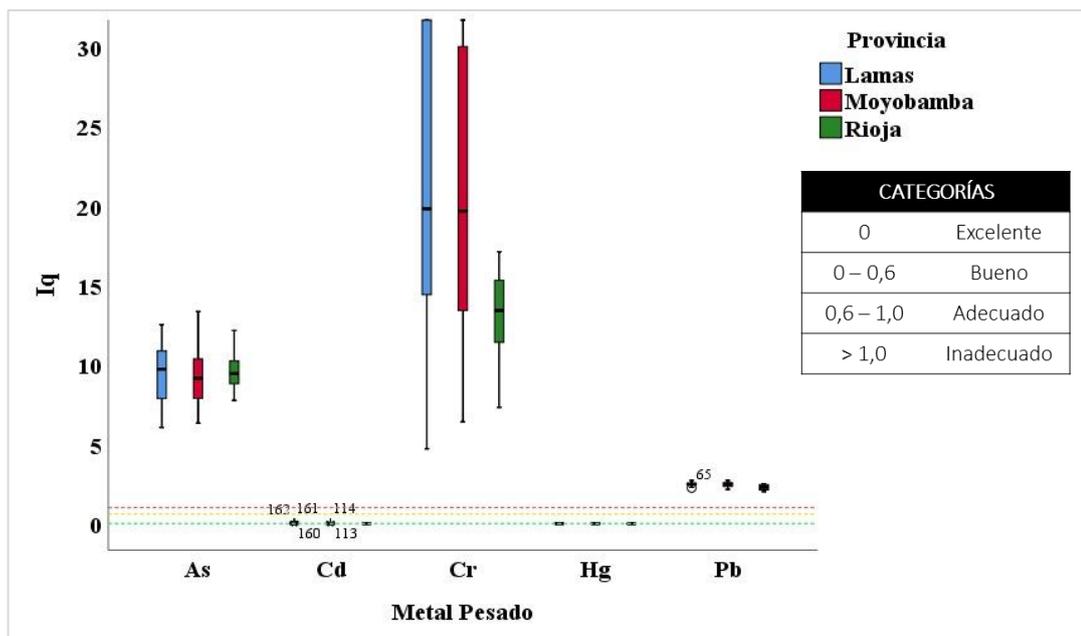
### 3.5. Índice de calidad de contenido de metales pesados

Para determinar cómo afectan las detecciones múltiples de metales pesados a la calidad del café, se aplicó el índice de calidad alimentaria (Iq) a cada una de las muestras analizadas. Este índice se calculó para cada muestra como la suma de las relaciones entre las concentraciones de metales pesados y los respectivos límites máximos permitidos (LMP) del café. A la fecha, Perú no cuenta con una normativa sanitaria que establezca niveles máximos de metales pesados en café, por ende, se tomaron como referencia los valores establecidos por la Unión Europea (REGLAMENTO UE 2018/73) para Mercurio (0,02 ppm) y los valores establecidos por la MERCOSUR (REGLAMENTO TÉCNICO MERCOSUR/GMC/RES. No 12/11) para Plomo (1,00 ppm), Cadmio (0,20 ppm) y Arsénico (0,50 ppm) (Arienzo et al., 2013; Mac Loughlin et al., 2018). Para la concentración de Cromo, no se han especificado legalmente niveles máximos, pero si existe un valor máximo permitido en alimentos generales que sería de 0.10 ppm para el Cromo (da Silva et al., 2017).

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

El Iq contiene cuatro categorías: excelente (IqR = 0), bueno (0–0,6), adecuado (0,6–1,0) e inadecuado (>1,0). Para detecciones no cuantificables, un valor de la mitad del LOD se utilizará para calcular la contribución al Iq.

Todas las muestras cumplieron con el nivel mínimo requerido de Hg, el 93% de muestras de Cd (No detectado) y el 7% de éstas si fueron detectados, pero se encuentran dentro del límite de Cd. Así mismo, todas las muestras analizadas de As, Pb y Cr superaron el límite máximo permitido.



**Figura 11.** Índice de calidad de contenido de metales pesados

#### IV. DISCUSIÓN

En los resultados del trabajo se pudo apreciar que todas las muestras analizadas revelaron concentraciones de Pb por encima del límite permitido (1.00 ppm) dados por la MERCOSUR, (2011). La concentración media de Pb oscila entre  $6.067 \pm 0.045$  mg/kg y  $7.527 \pm 0.303$  mg/kg (tabla 8). Estos resultados se asemejan a los resultados de Condezo y Huaraca (2018) realizada en granos de café de la zona de Jaén- Cajamarca con concentraciones entre 0.59 mg/kg y 2.16 mg/kg. En Loja (Ecuador), Viñan (2019) encontró concentraciones de Pb en granos de café (1.49 mg/kg), en café molido (2.22 mg/kg) y en el suelo del cultivo (23.60 mg/kg), resultados que sobrepasan los límites establecidos. Pero, si los resultados encontrados en esta investigación se comparan con los resultados de investigaciones realizadas en otros países, se observa gran diferencia en los valores encontrados; por ejemplo: en Brasil, da Silva et al. (2017) encontraron una concentración media de plomo de  $0.78 \pm 0.033$  mg/kg en muestras de café tostado y molido, mientras que Adler et al. (2019) obtuvo  $0.076 \pm 0.0956$  mg/kg en granos de café verde y  $0.0169 \pm 0.0041$  mg/kg en café tostado. En Kafa- Etiopía, Gure et al. (2017) informaron una concentración de  $0.06 \pm 0.005$  mg/kg de plomo en granos de café verde, todos inferiores a los valores encontrados en el presente trabajo. Por otro lado, otros estudios no detectaron la presencia de este metal en ninguna de las muestras analizadas, entre ellos se encuentra el estudio de Massoud et al. (2022) en Irán y Turquía y el de Berego et al. (2023) realizada en el sur de Etiopía. Al realizar la comparación de nuestros resultados con otras literaturas se observa que los valores que se obtuvieron de las muestras procedentes de la región de San Martín presentan una mayor contaminación con plomo en granos de café.

El contenido de Pb, según el origen geográfico, presenta diferencias altamente significativas en las medias (Tabla 08 y 09). Esta variación puede estar relacionada con el contenido mineral del suelo (Gure et al., 2017). Viñan (2019) determinó que la fuente de contaminación de las muestras de granos de café fue el suelo, pese a haber encontrado concentraciones de Pb que no superaban el valor permitido, en suelos agrícolas (70 mg/kg) según DS N° 011-2017 MINAN. En la región de San Martín (Tarapoto), Alaya et al. (2023) encontraron concentraciones de Pb que oscilaron entre 14,18 y 17,64 mg/kg; en las provincias de Bellavista, El Dorado, Huallaga, Mariscal Cáceres y Tocache, mientras que Arévalo et al. (2016) encontraron concentraciones que fluctuaron entre  $5.52 \text{ ug g}^{-1}$  y  $9.36 \text{ ug g}^{-1}$ , demostrando que los suelos son aptos para la agricultura. Puesto que,

las concentraciones de Pb en los suelos se encuentran en el rango permitido, y en este estudio se obtuvieron elevados valores de Pb, las causas de estos resultados podrían ser por otros factores tales como: el uso excesivo de fertilizantes, ya que existe estudios donde demuestran que existe altas concentraciones de plomo en los fertilizantes fosfatados (Martí et al., 2002).

La concentración de Cd osciló entre 0.011 a 0.013 mg/kg (Tabla 8), que fue mucho más baja que las concentraciones de Cd reportadas en Brasil y que fluctuó de 0.03 a 0.10 mg/kg (da Silva et al., 2017). En el distrito de San Ignacio-Cajamarca-Perú, Mundaca y Huamán (2021) encontraron valores medios que sobrepasan el límite máximo establecido, en granos frescos (0.379 mg/kg), en granos oro verde (0.288 mg/kg), en granos tostados (0.228 mg/kg), pero también obtuvieron valores inferiores a lo permitido en café tostado molido (0.109 mg/kg) y en bebida de café que no detectaron traza de Cd; siendo la normativa establecida por la MERCOSUR para Cadmio de 0.20 mg/kg (MERCOSUR, 2011). En Bosnia, Adler et al., (2019) reportaron una concentración de Cd en granos de café verde de  $0.015 \pm 0.0005$  mg/kg; en café tostado,  $0.0140 \pm 0.0041$  mg/kg, valores que fueron superiores a las muestras reportadas en esta investigación. En este estudio, las medias obtenidas según ANOVA para la variedad de café muestran que si existe diferencias significativas en el contenido de Cd (Tabla 10), contrarrestando a estos resultados, Ashu y Chandravanshi (2011) indican que la concentración de Cd varía dependiendo del tipo de variedad de café. Mego y Pintado (2019) obtuvieron en sus resultados presencia de Cd en las variedades de Catimor y Pache, ambas con un valor medio de 0.05 mg/kg; a diferencia de este estudio que solamente se detectó la presencia de Cd en la variedad Caturra con un valor medio de 0.014 mg/kg. Otras investigaciones como la de Gure et al. (2017), realizada en Etiopia, la de Massoud et al. (2022) realizada en Irán y Turquía y Berego et al. (2023) realizada en el sur de Etiopía; guardan relación con nuestros resultados, puesto que, no detectaron contenido de Cd en ninguna de las muestras analizadas, mientras que, en este estudio, se detectó Cd sólo en el 7% de las muestras analizadas. El nivel de concentración de Cd acumulada en los granos de café está relacionado con el tipo de suelo, por ejemplo, Cueva y Urquiza, (2020) y Alloway (2013) demostraron que a mayor cantidad de materia orgánica el contenido de Cd disminuye. Alaya et al. (2023) reportaron concentraciones de Cd (menores a 1.09 mg/kg) en muestras de suelos de la región de San Martín, valores que se encuentran por debajo del límite tolerable para suelos agrícolas, ( $\geq 1.4$  mg/kg) según legislación peruana (DS N°

011-2017-MINAM). Del mismo modo, Arévalo et al. (2016), encontraron valores de Cd entre  $0.00 \mu\text{g g}^{-1}$  y  $0.21 \mu\text{g g}^{-1}$  en muestras de suelos pertenecientes a la región de San Martín, encontrándose por debajo de los valores considerados como críticos: 3 a  $10 \mu\text{g g}^{-1}$  (Cameron 1992). Condezo y Huaraca (2018) mencionan que la presencia y disponibilidad de Cd en suelos, se ve favorecida cuando el pH es ácido. En la región de San Martín (Lamas) se reportó niveles de pH entre 6,15 y 6,23 (Mendoza et al., 2021). De los resultados obtenidos en la (Tabla 8), se puede apreciar, que la máxima concentración de Cd se registró en Lamas, resultados que guardan relación con la investigación de Mendoza et al. (2021), ya que reportaron concentraciones de Cd en suelos que sobrepasan los límites permitidos, y además, mencionan que existe la posibilidad de que estos resultados estén relacionados con el agua que se viene usando en la aplicación de insumos foliares; puesto que, para tal fin, emplean las aguas del Río Mayo y Cumbaza, donde día a día se realizan el vertimiento de relaves mineros. Pese a lo mencionado, nuestros resultados indican que los granos de café contienen la cantidad de Cd permitida, por lo que no estarían siendo un peligro para la salud de las personas.

En todas las muestras analizadas, el As fue el que tuvo los valores más elevados que los demás metales estudiados, sus valores oscilan entre  $7.603 \pm 0.526$  y  $10.777 \pm 2.144$  mg/kg con una mínima diferencia según el distrito de procedencia. En la provincia de Jaén-Cajamarca, Condezo y Huaraca (2018) hallaron valores entre  $0.06$  mg/kg y  $0.16$  mg/kg, del mismo modo, Vásquez (2020) en la provincia de El Oro-Ecuador, encontró valores similares al de Condezo y Huaraca ( $0.08$  mg/kg -  $0.15$  mg/kg); ambas investigaciones con valores inferiores a los reportados en esta investigación y que además se encuentran por debajo de lo que indica la MERCOSUR para Pb  $0.50$  ppm. También, en este estudio se pudo apreciar que, en el contenido del As, según el sistema de producción del café, si existen diferencias significativas, siendo el valor medio más alto de  $10.100$  mg/kg con el sistema convencional (Tabla 11). Estos resultados guardarían relación con la investigación de Cruz et al. (2011), ya que informan que la cantidad de contaminantes en los productos alimenticios están relacionados con el tipo de sistemas de producción que se utiliza dentro del cultivo. Además, Bravo et al. (2016) mencionan que los sistemas convencionales, hacen uso de productos químicos como plaguicidas, fungicidas, biosidas y fertilizantes. Asimismo, Martí et al. (2002) demostraron en su investigación que los fertilizantes contienen altas concentraciones de arsénico, plomo y cadmio, probablemente porque el arsénico tiende a acumularse con más facilidad en los vegetales (Francesconi

& Kuehnelt, 2020). Haciendo una comparación de nuestros resultados, los valores de arsénico reportados en este estudio están por encima de los reportado por otros estudios, por lo que es necesario hacer más investigaciones sobre este metal en granos de café.

El contenido de Cr en las muestras de café presenta diferencias altamente significativas según el distrito de procedencia y también por la variedad de café. La concentración media más alta de Cr se detectó con la variedad Pache  $3.905 \pm 2.398$  mg/kg, muestra perteneciente al distrito de Moyobamba. Estos resultados guardan relación con los resultados obtenidos en Brasil por da Silva et al., (2017), quienes hallaron concentraciones que superaron los límites permitidos (0.10 ppm) en un 66% de las muestras analizadas, siendo el valor medio más alto 1.50 mg/kg. Del mismo modo, Gure et al. (2017) obtuvieron concentraciones entre 0.21mg/kg y 0.28 mg/kg, valores que, si bien son inferiores a los encontrados en este estudio, pero superiores a los límites establecidos por la normativa. En el sur de Etiopía, Berego et al. (2023) no detectaron Cr en ninguna de las muestras analizadas; En Irán y Turquía, Massoud et al. (2022) tampoco detectaron la presencia de Cr. Alaya et al. (2023) registraron cantidades de Cr (10.04 mg/kg y 12.96 mg/kg) en suelos agrícolas para la región de San Martín (Tarapoto). Como el Cr es un metal esencial para las plantas no representaría ningún riesgo para los suelos agrícolas, pero si los valores de Cr los encontramos en altas concentraciones como los que se detectó en este estudio, ya tienden a ser dañinos en la salud de las personas (Gure et al., 2017).

En ninguna de las 27 muestras analizadas en este estudio se detectó la presencia de Mercurio. Estos resultados coinciden con la investigación de Massoud et al. (2022), ya que tampoco detectaron presencia de Hg en las muestras analizadas, pese a que Londoño et al. (2016) mencionaron que el origen del mercurio en los alimentos se debe al uso de insecticidas y desinfectantes.

## V. CONCLUSIONES

1. Se determinó las concentraciones de Plomo, Cadmio, Arsénico, Cromo y Mercurio en los granos de café producidos en la región de San Martín, Perú.
  - El presente estudio no detectó presencia de Cd en el 93% de las muestras analizadas, mientras que en el 7% restante se obtuvieron niveles medios de Cd 0.013 mg/kg y 0.011mg/kg en los distritos de Lamas-Lamas y Soritor-Moyobamba. Este elemento se detectó solamente en la variedad caturra con un valor medio de 0.014 mg/kg. No se encontraron diferencias significativas en las medias y todos los valores se encontraron dentro de los Límites Máximos Permisibles para Cd.
  - En todas las muestras analizadas se detectó presencia de As, Pb y Cr y todos los valores sobrepasaron el límite máximo permitido de las normativas internacionales.
  - El As fue el metal que presentó valores más elevados en comparación con los demás metales analizados (Pb, Cr, Cd y Hg). Las muestras que arrojaron mayor concentración de As fueron las procedentes de los distritos de Moyobamba y Nueva Cajamarca. No se encontraron diferencias significativas en las medias según la provincia de procedencia ni según la variedad de café, sin embargo, respecto al sistema de producción se encontraron diferencias estadísticamente significativas, siendo notoria la diferencia entre el sistema convencional, con el valor medio más alto de 10.100 mg/kg, y el sistema orgánico, con un valor medio de 8.474 mg/kg.
  - En el contenido de Pb y Cr se detectaron diferencias estadísticas significativas en las medias según el distrito y provincia de procedencia. La máxima concentración de Pb se registró en el distrito Japelacio-Moyobamba, con un valor medio de 6.067 ppm, mientras que la mínima concentración se registró en el distrito de Awajun-Rioja con 7.423 ppm. La máxima concentración de Cr se registró en el distrito de Moyobamba con 3.651 ppm, mientras que la mínima concentración se encontró en el distrito de Alonso de Alvarado con un valor medio de 0.487 ppm.
  - El contenido de Cr según la variedad de café también presentó diferencias significativas entre las medias, siendo la variedad Pache la que registró el valor medio más alto de Cr (3.905 ppm).

- Tanto el Pb, el Cd y el Cr no mostraron diferencias estadísticamente significativas por sistema de producción.
  - No se ha detectado presencia de Mercurio (Hg) en ninguna de las muestras analizadas; por lo tanto, todas las muestras cumplieron con el nivel mínimo requerido.
2. La contaminación por metales pesados (Cd y Hg) presentaron un Índice de calidad excelente, lo que representa un riesgo nulo para la salud; en cambio para el As, Cr y Pb el Índice de calidad es Mayor a 1, lo que implica que a la larga podrían ocasionar efectos graves en la salud de las personas.

## VI. RECOMENDACIONES

- Recolectar más datos sobre las fincas de las cuales proceden las muestras de café, tales como: a) altitud, b) tipo de regadío de los cultivos de café (ya sea solo lluvia o aguas de ríos, quebradas, entre otros); c) tipo de abono que utilizan (ya sea combinado, es decir natural y químico o solo uno de los dos); d) qué cantidades de abono químico se usó, y en caso se use; si existe concesiones mineras cercanas a la finca; con la finalidad de poder realizar más comparaciones de estos factores que intervienen en dichos resultados y, así poder tomar decisiones respecto al manejo del café.
- Realizar un análisis de suelo de las parcelas de café para poder saber cuánto es la influencia del suelo en las concentraciones obtenidas de metales pesados en los granos de café y, posterior a ello, hacer un seguimiento continuo de principio a fin del cultivo de café, con la participación de los caficultores, para comprender con mayor claridad por qué se contaminan con metales pesados.
- Realizar charlas informativas dirigidas a los productores de café donde se toquen temas sobre nuevas tendencias en manejo técnico y el impacto del uso de plaguicidas (para evitar su uso excesivo de estos y obtener un producto libre de contaminantes).
- Hacer más estudios sobre el Arsénico en muestras de granos de café procedentes de la región de San Martín.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adler, G., Nędzarek, A & Tórz, A. (2019). Concentrations of selected metals (NA, K, CA, MG, FE, CU, ZN, AL, NI, PB, CD) in coffee. *Slovenian Journal of Public Health*, 58(4) 187-193. <https://doi.org/10.2478/sjph-2019-0024>
- Al-Abdulkader, A. M., Al-Namazi, A. A., Alturki, T. A., Al-khuraish, M. M., & Al-dakhil, A. I. (2017). Saudi Journal of Biological Sciences Optimizing coffee cultivation and its impact on economic growth and export earnings of the producing countries: The case of Saudi Arabia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(4), 776–782. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.08.016>
- Alloway B.J. (2013). Heavy metals in Soils: *Trace Metals and metalloids in soils and their bioavailability*, 3 ed. Springer Science & Business Media. <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7>
- Arévalo-Gardini, E., Obando-Cerpa, M. E., Zúñiga-Cernades, L. B., Arévalo-Hernández, C. O., Baligar, V., & He, Z. (2016). Metales pesados en suelos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en tres regiones del Perú. *Ecología aplicada*, 15(2), 81-89. <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v15i2.747>
- Ashu R. y Chandravanshi BS. (2011). Niveles de concentración de metales en polvos de café tostado etíope comercialmente disponibles y sus infusiones. *Boletín de la Sociedad Química de Etiopía* 25 :11-24 <http://dx.doi.org/10.4314/bcse.v25i1.63356>
- Berego, YS, Sota, SS, Ulsido, M. y Beyene, EM (2023). The contents of essential and toxic metals in coffee beans and soil in Dale Woreda, Sidama Regional State, Southern Ethiopia. *Peer J*, 11, e14789. <https://doi.org/10.7717/peerj.14789>
- Bravo Monroy, L., Potts, S. G., & Tzanopoulos, J. (2016). Drivers influencing farmer decisions for adopting organic or conventional coffee management practices. *Food Policy*, 58, 49–61. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2015.11.003>
- Cámara Peruana de Café y Cacao – CPCC (2022). *Datos actualizados sobre café en el Perú*. Disponible en: <https://camcafeperu.com.pe/ES/cafe-peruano-estadisticas.php> (revisado el 05 de diciembre del 2022).

- Cameron R.E. (1992). Guide to site and soil description for hazardous waste site characterization. Vol. 1: metals. *Agencia de Protección Ambiental EPA/600/4-91/029*. Washington, DC: EPA de EE. UU. 288p. <http://nepis.epa.gov/EPA/html/Pubs/pubtitleORD.htm>
- Carter, M. R. (Ed.). (1993). *Soil Sampling and Methods of Analysis*. USA. Lewis Publishers. s/n. Disponible online: [https://books.google.es/books?id=54IYLsV49zIC&pg=PP17&lr=&hl=es&source=gb\\_s\\_selected\\_pages&cad=2#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?id=54IYLsV49zIC&pg=PP17&lr=&hl=es&source=gb_s_selected_pages&cad=2#v=onepage&q&f=false)
- Condezo Nuñez, S., y Huaraca Mezones, C. V. (2018). *Cuantificación de Plomo, Cadmio y Arsénico en granos de cacao Theobroma cacao L. Y CAFÉ Coffea arábica L. de la zona de Jaén-Cajamarca durante el periodo febrero–julio 2018* [Tesis de Pregrado, Universidad Norbert Wiener - Perú]. Recuperado de <http://repositorio.uwiener.edu.pe/handle/123456789/2571>
- Cueva, J.P. y Urquiza, N.A. (2020). *Presencia de metales pesados (cadmio y mercurio) bajo distintos usos del suelo en la comunidad Boayacu perteneciente a la parroquia teniente Hugo Ortiz, Universidad Estatal Amazónica* [Tesis de pregrado]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/816/1/T.AMB.B.UEA.%20%203257.pdf>
- Cruz Cerón, G. J.; Trejos Pinzón, F. C.; Serna Giraldo, A. P.; y Calderón Cuartas, A. (2011). Evaluación De Ingredientes Activos De Plaguicidas Aplicados En Sistemas De Producción Cafeteros Certificados Y No Certificados En Cundinamarca Y Santander. *Cenicafé*, 62(1), 17–31. Disponible en: <https://www.cenicafe.org/es/documents/Rev.62%281%29.art.2.Ingredientes.de.plaguicidas.pdf> (revisado el 12 de junio del 2021).
- da Silva, A. L.; Barrocas, P. R.G.; do Coto Jacob, S. & Costa Moreira, J. (2005). Dietary intake and health effects of selected toxic elements. *Revista Brasileira de Fisiología Vegetal*, 17(4365), 79–93. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S1677-04202005000100007>
- da Silva, S. A., Mendes, F. Q., Reis, M. R., Passos, F. R., de Carvalho, A. M. X., de

- Oliveira Rocha, K. R., & Pinto, F. G., (2017). Determinación de metales pesados en los granos de café tostados y molidos y en la infusión. *Diario Africano de Investigación Agrícola*, 12 (4), 221-228. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11832>
- Díaz Vargas, C. & Carmen Willems, M. (2017). *Línea de base del sector café en el Perú*. (Lima-Perú, pp. 1–58). Disponible en: <https://camcafeperu.com.pe/admin/recursos/publicaciones/Linea-base-del-sector-cafe-en-Peru.pdf> (revisado el 12 de junio del 2022).
- dos Santos, J. S., dos Santos, M. L. P., Conti, M. M., dos Santos, S. N. & de Oliveira, E. (2009). Evaluation of some metals in Brazilian coffees cultivated during the process of conversion from conventional to organic agriculture. *Food Chemistry*, 115(4), 1405–1410. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.01.069>
- FAO, FAOLEX. (1995). *NOM-117-SSA1-1994: Determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica* [DOF - Diario Oficial de la Federación]. [http://diariooficial.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4729038&fecha=15/08/1994](http://diariooficial.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4729038&fecha=15/08/1994).
- Fu, Y., Zhao, C., Lu, X., & Xu, G. (2017). Nontargeted screening of chemical contaminants and illegal additives in food based on liquid chromatography–high resolution mass spectrometry. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry* (Vol. 96, pp. 89-98). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2017.07.014>
- Fujimaki, S., Suzui, N., Ishioka, N. S., Kawachi, N., Ito, S., Chino, M., & Nakamura, S. I. (2010). Tracing cadmium from culture to spikelet: Noninvasive imaging and quantitative characterization of absorption, transport, and accumulation of cadmium in an intact rice plant. *Plant Physiology*, 152(4), 1796–1806. <https://doi.org/10.1104/pp.109.151035>
- Garg, S. K., Shukla, A., & Choudhury, S. (2021). Green coffee beans. In A. S. Ramesh C. G., Rajiv L. (Ed.), *Nutraceuticals* (2nd ed., pp. 725-748). INC. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-821038-3.00042-2>.

- Gure, A., Chandravanshi, B. S. & Godeto, T. W., (2017). Metals in green coffee beans from major coffee-growing regions of Ethiopia. *Chem Int*, 3 (4), 458-468. <https://bosajournals.com/chemint/article/view/100/100>
- Hird, S. J., Lau, B. P. Y., Schuhmacher, R., & Krska, R. (2014). Liquid chromatography-mass spectrometry for the determination of chemical contaminants in food. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 59, 59–72. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2014.04.005>
- Ho, T. Q., Hoang, V. N., Wilson, C., & Nguyen, T. T. (2018). Eco-efficiency analysis of sustainability-certified coffee production in Vietnam. *Journal of Cleaner Production*, 183, 251-260. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02>.
- Londoño Franco, L. F., Londoño Muñoz, P. T., & Muñoz Garcia, F. G. (2016). Los Riesgos De Los Metales Pesados En La Salud Humana Y Animal. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145–153. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/bsaa(14)145-153)
- Lorenzo, M., & Pico, Y. (2017). Gas Chromatography and Mass Spectroscopy Techniques for the Detection of Chemical Contaminants and Residues in Foods. En *Chemical Contaminants and Residues in Food: Second Edition*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100674-0.00002-3>
- Luis-Alaya, B., Toro, M., Calsina, R., Ogata-Gutiérrez, K., Gil-Polo, A., Ormeño-Orrillo, E., & Zúñiga-Dávila, D. (2023). Evaluation of the Presence of Arbuscular Mycorrhizae and Cadmium Content in the Plants and Soils of Cocoa Plantations in San Martin, Peru. *Diversity*, 15(2), 246. <https://doi.org/10.3390/d15020246>
- Margenat, A., Matamoros, V., Díez, S., Cañameras, N., Comas, J., & Bayona, J. M. (2019). Occurrence and human health implications of chemical contaminants in vegetables grown in peri-urban agriculture. *Environment International*, 124, 49-57. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.12.013>
- Martín, L., Burba, J., & Cavagnaro, M. (2002). Metales pesados em fertilizantes fosfatados, nitrogenados y mixtos. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 43-48. Obtenido de [http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos\\_digitales/2829/martiagrarias2-34-02.pdf](http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/2829/martiagrarias2-34-02.pdf)

- Massoud, R., Mir Mohammad Makki, F., Mir Mohammad Makki, S. F., Mir Mohammad Makki, N., & Massoud, A. (2022). Evaluation of heavy metals in Roasted Coffee powder in Iran and Turkey. *Coffee Science*. <https://doi.org/10.25186/v17i.2013>
- Mego Ramírez, R., y Pintado Castillo, M. D. M. (2019). *Determinación del Nivel de Concentración de Cadmio en Granos y Esencia de Café (Coffea Arabica L.), en el Distrito de Chirinos, Provincia de San Ignacio* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Jaén - Perú]. Recuperado de <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/46>
- Mendoza-López, K. L., Mostacero-León, J., López-Medina, S. E., Gil-Rivero, A. E., Anthony, J., & Villena-Zapata, L. (2021). Cadmio en plantaciones de Theobroma cacao L. "cacao" en la región San Martín (Lamas), Perú. *Manglar*, 18(2), 169-173. <http://dx.doi.org/10.17268/manglar.2021.022>
- Mero, M., Pernía, B., Ramírez-Prado, N., Bravo, K., Ramírez, L., Larreta, E., & Egas, F. (2019). Concentration of cadmium in water, sediments, eichhornia crassipes and pomacea canaliculata in the Guayas (Ecuador) river and tributaries. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(3), 623–640. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.03.09>
- MINAM. Ministerio del Ambiente. Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) Para Suelo. (2017). Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-suelo-0> (consultado el 25 de octubre del 2023).
- Monteiro, C. C., Carvalho, R. F., Gratão, P. L., Carvalho, G., Tezotto, T., Medici, L. O., Peres, L. E. P., & Azevedo, R. A. (2011). Biochemical responses of the ethylene-insensitive Never ripe tomato mutant subjected to cadmium and sodium stresses. *Environmental and Experimental Botany*, 71(2), 306–320. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.12.020>
- Mundaca Ramos, Y. M., & Huamán García, J. S. (2021). *Evaluación de Cadmio en Granos de Café, Café Tostado Molido y Esencia de Café (Coffea arabica L.) Procedentes de Fincas Manejadas Convencionalmente, en el Distrito San Ignacio, Cajamarca, Campaña 2020* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Jaén - Perú]. Recuperado de <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/104>

Organización Mundial de la Salud, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2017). *Métodos de muestreo recomendados para la determinación de residuos de plaguicidas a efectos del cumplimiento de los LMR CAC/GL 33-1999.*, 20. Disponible en: [http://www.fao.org/input/download/standards/361/CXG\\_033e.pdf](http://www.fao.org/input/download/standards/361/CXG_033e.pdf) (accessed on 16 December 2017)

Petersen, A., Jensen, B. H., Löbl, N. M., Nielsen, E., Bredsdorff, L., Fagt, S., Christensen, T., & Boberg, J. (2020). The impact of dietary habits on contaminant exposures. *Food and Chemical Toxicology*, 135(Julio), 110885. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.110885>

Programa Nacional de Monitoreo de Contaminantes en alimentos agropecuarios primarios y piensos, 12 (2012) (testimony of RESOLUCIÓN JEFATURAL N° 0207-2012-AG-SENASA).

Reglamento Técnico MERCOSUR sobre límites máximos de contaminantes inorgánicos en alimentos, DEROGACIÓN DE LAS RES. GMC N° 102/94 y N° 35/96, 1 (2011). Disponible en: [http://www.puntofocal.gov.ar/doc/r\\_gmc\\_12-11.pdf](http://www.puntofocal.gov.ar/doc/r_gmc_12-11.pdf). (revisado el 17 de mayo del 2021).

*REGLAMENTO (UE) 2018/73 DE LA COMISIÓN por el que se modifican los anexos II y III del Reglamento (CE) n° 396/2005 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a los límites máximos de residuos de compuestos de mercurio en determinados productos*, 13 (2018) (testimony of COMISIÓN EUROPEA).

Robledo Giraldo, N. (2020). Tecnologías utilizadas en el beneficio del café para la reducción de la contaminación ambiental y los procesos de adopción. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 68(1), 1–12. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/40471>

Şaylan, M., Zaman, B. T., Bakırdere, E. G., & Bakırdere, S. (2020). Determination of trace nickel in chamomile tea and coffee samples by slotted quartz tube-flame atomic absorption spectrometry after preconcentration with dispersive liquid-liquid microextraction method using a Schiff base ligand. *Journal of Food Composition and Analysis*, 88, 8–12. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103454>

- Song, Y., Jin, L., & Wang, X. (2017). Cadmium absorption and transportation pathways in plants. *International Journal of Phytoremediation*, 19(2), 133–141. <https://doi.org/10.1080/15226514.2016.1207598>
- Stroheker, T., Chung, Y. J., Scholz, G., & Mazzatorta, P. (2019). A global approach for prioritizing chemical contaminants in raw materials of food for infants and young children. *Food Control*, 105(May), 71-77. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.05.024>
- Tezotto, T., Favarin, J. L., Azevedo, R. A., Alleoni, L. R. F., & Mazzafera, P. (2012). Coffee is highly tolerant to cadmium, nickel and zinc: Plant and soil nutritional status, metal distribution and bean yield. *Field Crops Research*, 125, 25–34. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.08.012>
- Thirumdas, R., Janve, M., Siliveru, K., & Kothakota, A. (2019). Determination of food quality using atomic emission spectroscopy. In *Evaluation Technologies for Food Quality* (pp. 175-192). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814217-2.00010-X>
- Uraguchi, S., Mori, S., Kuramata, M., Kawasaki, A., Arao, T., & Ishikawa, S. (2009). Root-to-shoot Cd translocation via the xylem is the major process determining shoot and grain cadmium accumulation in rice. *Journal of Experimental Botany*, 60(9), 2677–2688. <https://doi.org/10.1093/jxb/erp119>
- Vásquez Toro, C. A. (2020). *Determinación de Arsénico en café artesanal comercializado en el cantón Zaruma, provincia de El Oro-Ecuador* [Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil]. Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/48747>
- Viñan Guamán, J. S. (2019). *Determinación de plomo en café industrial y artesanal, comercializados en la provincia de Loja* [Bachelor's thesis, Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Guayaquil]. Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/39737>
- Yoneyama, T., Ishikawa, S., & Fujimaki, S. (2015). Route and regulation of zinc, cadmium, and iron transport in rice plants (*Oryza sativa* L.) during vegetative growth and grain filling: Metal transporters, metal speciation, grain Cd reduction

and Zn and Fe biofortification. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(8), 19111–19129. <https://doi.org/10.3390/ijms160819111>

Zhan, J., Shi, X. Z., Xu, X. W., Cao, G. Z., & Chen, X. F. (2020). Generic and rapid determination of low molecular weight organic chemical contaminants in protein powder by using ultra-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences*, 1138, 121967. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2020.121967>

## ANEXOS

### ANEXO 01.- MUESTRAS RECOLECTADAS DE CAFÉ – SAN MARTÍN

**Tabla 12.** Muestras recolectadas de café de la región de San Martín.

Muestras (n=27)	NOMBRE DEL PRODUCTOR	VARIEDAD	SISTEMAS DE MANEJO DEL CAFÉ	ALTITUD (msnm)	HUMEDAD	SECTOR	DISTRITO	PROVINCIA	
1	SEGUNDO AGUSTIN LARA ESPINOZA	CATIMOR	ORGÁNICO	1200	12%	CASERIO SAN MATEO	JEPELACIO	MOYOBA MBA	
2	MANUEL CARHUATANTA ZELADA	CATURRA	ORGÁNICO	1400	12%	BELLA PALMA	JEPELACIO	MOYOBA MBA	
3	MARCO URRUTIA VASQUEZ	CATIMOR	ORGÁNICO	1300	12%	CASERIO EL LIMON	JEPELACIO	MOYOBA MBA	
4	NILDA NAVARRO VILLANUEVA	CATIMOR	ORGÁNICO	1100	12%	BELLA PALMA	JEPELACIO	MOYOBA MBA	
5	EBERT ESTELA VASQUEZ	PACHE	ORGÁNICO	1300	12%	CASERIO EL LIMON	JEPELACIO	MOYOBA MBA	
14	6	JOSE HUMBERTO MILLONES LLANTAS	CATURRA	ORGÁNICO	1100	12%	CASERIO PACAYPITE	JEPELACIO	MOYOBA MBA
7	-----	TIPICA	CONVENCIONAL	-----	12%	EL LIMÓN	JEPELACIO	MOYOBA MBA	
8	-----	CATIMOR	CONVENCIONAL	-----	12%	SAN LUIS	JEPELACIO	MOYOBA MBA	
9	MAGDALENA GOMES CHUMASERO	BOURBON	ORGÁNICO	1800	12%	VILLA EL TRIUNFO	SORITOR	MOYOBA MBA	
10	ITALY GOMES VELASQUEZ	PACHE	ORGÁNICO	1800	12%	LAS MURALLAS	SORITOR	MOYOBA MBA	
11	JESUS RAMIREZ RAMIRAZ	CATURRA	ORGÁNICO	1900	12%	VILLA EL TRIUNFO	SORITOR	MOYOBA MBA	
12	-----	TIPICA	CONVENCIONAL	-----	12%	LAS MALVINAS	MOYOBAMBA	MOYOBA MBA	

13	-----	CATURRA	CONVENCI ONAL	-----	11%	LOS ÁNGELES	MOYOBAM BA	MOYOBAM BA	
14	-----	BOURBO N	CONVENCI ONAL	-----	12%	EL CONDOR	MOYOBAM BA	MOYOBAM BA	
1	WILMER TERRONE S	TÍPICA	CONVENCI ONAL	-----	12%	CASERIO CESAR VALLEJO	PARDO MIGUEL	RIOJA	
2	FRANCIS CO TARRILL O	CATURRA	CONVENCI ONAL	---	12%	EL EFLUENTE	PARDO MIGUEL	RIOJA	
3	MANUEL JULON	CATIMOR	CONVENCI ONAL	---	12%	CASERIO EL TRIUNFO	PARDO MIGUEL	RIOJA	
7	4	-----	CATIMOR	CONVENCI ONAL	-----	12%	EL EFLUENTE	PARDO MIGUEL	RIOJA
5	ABRAN RAFAEL	TIPICA	CONVENCI ONAL	---	12%	NARANJILL O	NUEVA CAJAMARC A	RIOJA	
6	-----	CATIMOR	CONVENCI ONAL	-----	12%	NARANJILL O	NUEVA CAJAMARC A	RIOJA	
7	MANUEL OBLITAS	BOURBO N	ORGÁNICO	---	12%	SAN CARLOS	AWAJUN	RIOJA	
1	---	TIPICA	ORGÁNICO	---	12%	ALONSO DE ALVARADO	ALONSO DE ALVARAD O	LAMAS	
2	DAVID PAZ WEICOCHEA	CATIMOR	CONVENCI ONAL	950	13%	PAMASHTO	LAMAS	LAMAS	
6	3	LUZ LILA PEREZ MALDON ADO	CATIMOR	CONVENCI ONAL	-----	13%	PAMASHTO	LAMAS	LAMAS
4	-----	TÍPICA	CONVENCI ONAL	-----	12%	PAMASHTO	LAMAS	LAMAS	
5	-----	CATURRA	CONVENCI ONAL	-----	12%	PAMASHTO	LAMAS	LAMAS	
6	-----	CATURRA	CONVENCI ONAL	-----	12%	LAMAS	LAMAS	LAMAS	

## ANEXO 02.- CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS (PLOMO, CADMIO, ARSÉNICO, CROMO, MERCURIO)

**Tabla 13.** *Concentración de plomo en granos de café.*

MUESTRA	PROVINCIA	DISTRITO	VARIETAD	MANEJO	CONCENTRACIÓN Pb (ppm)	REPLICAS 1 (ppm)	REPLICAS 2 (ppm)	REPLICAS 3 (ppm)
1	MOYOBAMBA	JEPELACIO	CATIMOR	ORGÁNICO	<b>8.03</b>	8.05	7.94	8.12
2	MOYOBAMBA	JEPELACIO	CATURRA	ORGÁNICO	<b>7.76</b>	7.73	7.86	7.69
3	MOYOBAMBA	JEPELACIO	CATIMOR	ORGÁNICO	<b>7.66</b>	7.75	7.49	7.75
4	MOYOBAMBA	JEPELACIO	CATIMOR	ORGÁNICO	<b>7.45</b>	7.41	7.43	7.5
5	MOYOBAMBA	JEPELACIO	PACHE	ORGÁNICO	<b>7.72</b>	7.77	7.79	7.6
6	MOYOBAMBA	JEPELACIO	CATURRA	ORGÁNICO	<b>6.51</b>	6.43	6.54	6.57
7	MOYOBAMBA	JEPELACIO	TÍPICA	CONVENCIONAL	<b>7.30</b>	7.26	7.33	7.3
8	MOYOBAMBA	JEPELACIO	CATIMOR	CONVENCIONAL	<b>6.95</b>	6.92	6.87	7.06
9	MOYOBAMBA	SORITOR	BOURBON	ORGÁNICO	<b>7.74</b>	7.69	7.8	7.72
10	MOYOBAMBA	SORITOR	PACHE	ORGÁNICO	<b>6.96</b>	6.86	7.01	7.01
11	MOYOBAMBA	SORITOR	CATURRA	ORGÁNICO	<b>7.45</b>	7.41	7.53	7.43
12	MOYOBAMBA	MOYOBAMBA	TÍPICA	CONVENCIONAL	<b>6.60</b>	6.54	6.52	6.73
13	MOYOBAMBA	MOYOBAMBA	CATURRA	CONVENCIONAL	<b>7.41</b>	7.40	7.43	7.4
14	MOYOBAMBA	MOYOBAMBA	BOURBON	CONVENCIONAL	<b>7.53</b>	7.52	7.5	7.58
1	RIOJA	PARDOMIGUEL	TÍPICA	CONVENCIONAL	<b>7.16</b>	7.18	7.07	7.24
2	RIOJA	PARDOMIGUEL	CATURRA	CONVENCIONAL	<b>6.30</b>	6.27	6.34	6.29
3	RIOJA	PARDOMIGUEL	CATIMOR	CONVENCIONAL	<b>6.67</b>	6.73	6.65	6.62
4	RIOJA	PARDOMIGUEL	CATIMOR	CONVENCIONAL	<b>7.41</b>	7.45	7.42	7.36

5	RIOJA	NUEVA CAJAMARCA	TIPICA	CONVENCIONAL	<b>7.48</b>	7.40	7.53	7.51
6	RIOJA	NUEVA CAJAMARCA	CATIMOR	CONVENCIONAL	<b>6.85</b>	6.87	6.84	6.85
7	RIOJA	AWAJUN	BOURBON	ORGÁNICO	<b>6.07</b>	6.02	6.07	6.11
1	LAMAS	ALONSO DE ALVARADO	TIPICA	ORGÁNICO	<b>6.80</b>	6.82	6.69	6.87
2	LAMAS	LAMAS	CATIMOR	CONVENCIONAL	<b>8.05</b>	7.96	8.04	8.13
3	LAMAS	LAMAS	CATIMOR	CONVENCIONAL	<b>7.36</b>	7.40	7.43	7.26
4	LAMAS	LAMAS	TÍPICA	CONVENCIONAL	<b>7.29</b>	7.22	7.26	7.38
5	LAMAS	LAMAS	CATURRA	CONVENCIONAL	<b>7.31</b>	7.26	7.28	7.39
6	LAMAS	LAMAS	CATURRA	CONVENCIONAL	<b>7.63</b>	7.59	7.64	7.67

**Tabla 14.** *Concentración de Cadmio en granos de café.*

MUESTRAS	PROVINCIA	DISTRITO	VARIEDAD	MANEJO	CONCENTRACIÓN Cd (ppm)	REPLICA 1 (ppm)	REPLICA 2 (ppm)	REPLICA 3 (ppm)
1	MOYOBAMBA	JEPELACIO	CATIMOR	ORGÁNICO	<b>ND</b>	ND	ND	ND
2	MOYOBAMBA	JEPELACIO	CATURRA	ORGÁNICO	<b>ND</b>	ND	ND	ND
3	MOYOBAMBA	JEPELACIO	CATIMOR	ORGÁNICO	<b>ND</b>	ND	ND	ND
4	MOYOBAMBA	JEPELACIO	CATIMOR	ORGÁNICO	<b>ND</b>	ND	ND	ND
5	MOYOBAMBA	JEPELACIO	PACHE	ORGÁNICO	<b>ND</b>	ND	ND	ND
6	MOYOBAMBA	JEPELACIO	CATURRA	ORGÁNICO	<b>ND</b>	ND	ND	ND
7	MOYOBAMBA	JEPELACIO	TIPICA	CONVENCIONAL	<b>ND</b>	ND	ND	ND
8	MOYOBAMBA	JEPELACIO	CATIMOR	CONVENCIONAL	<b>ND</b>	ND	ND	ND
9	MOYOBAMBA	SORITOR	BOURBON	ORGÁNICO	<b>ND</b>	ND	ND	ND
10	MOYOBAMBA	SORITOR	PACHE	ORGÁNICO	<b>ND</b>	ND	ND	ND

11	MOYOBAMBA	SORITOR	CATURRA	ORGÁNICO	<b>0.03</b>	-0.02	0.06	0.04
12	MOYOBAMBA	MOYOBAMBA	TÍPICA	CONVENCIONAL	<b>ND</b>	ND	ND	ND
13	MOYOBAMBA	MOYOBAMBA	CATURRA	CONVENCIONAL	<b>ND</b>	ND	ND	ND
14	MOYOBAMBA	MOYOBAMBA	BOURBON	CONVENCIONAL	<b>ND</b>	ND	ND	ND
1	RIOJA	PARDO MIGUEL	TÍPICA	CONVENCIONAL	<b>ND</b>	ND	ND	ND
2	RIOJA	PARDO MIGUEL	CATURRA	CONVENCIONAL	<b>ND</b>	ND	ND	ND
3	RIOJA	PARDO MIGUEL	CATIMOR	CONVENCIONAL	<b>ND</b>	ND	ND	ND
4	RIOJA	PARDO MIGUEL	CATIMOR	CONVENCIONAL	<b>ND</b>	ND	ND	ND
5	RIOJA	NUEVA CAJAMARCA	TÍPICA	CONVENCIONAL	<b>ND</b>	ND	ND	ND
6	RIOJA	NUEVA CAJAMARCA	CATIMOR	CONVENCIONAL	<b>ND</b>	ND	ND	ND
7	RIOJA	AWAJUN	BOURBON	ORGÁNICO	<b>ND</b>	ND	ND	ND
1	LAMAS	ALONSO DE ALVARADO	TÍPICA	ORGÁNICO	<b>ND</b>	ND	ND	ND
2	LAMAS	LAMAS	CATIMOR	CONVENCIONAL	<b>ND</b>	ND	ND	ND
3	LAMAS	LAMAS	CATIMOR	CONVENCIONAL	<b>ND</b>	ND	ND	ND
4	LAMAS	LAMAS	TÍPICA	CONVENCIONAL	<b>ND</b>	ND	ND	ND
5	LAMAS	LAMAS	CATURRA	CONVENCIONAL	<b>ND</b>	ND	ND	ND
6	LAMAS	LAMAS	CATURRA	CONVENCIONAL	<b>0.06</b>	0.08	0.04	0.07

ND: no detectado.

**Tabla 15. Concentración de Arsénico en granos de café.**

MUESTRA	PROVINCIA	DISTRITO	VARIEDAD	MANEJO	CONCENTRACIÓN As (ppm)	REPLICA 1 (ppm)	REPLICA 2 (ppm)	REPLICA 3 (ppm)
1	MOYOBAMBA	JEPELACIO	CATIMOR	ORGÁNICO	<b>7.64</b>	7.8	7.1	8.01
2	MOYOBAMBA	JEPELACIO	CATURRA	ORGÁNICO	<b>8.41</b>	6.99	9.3	8.95
3	MOYOBAMBA	JEPELACIO	CATIMOR	ORGÁNICO	<b>7.37</b>	7.02	7.06	8.03
4	MOYOBAMBA	JEPELACIO	CATIMOR	ORGÁNICO	<b>9.31</b>	10.04	6.32	11.58
5	MOYOBAMBA	JEPELACIO	PACHE	ORGÁNICO	<b>9.09</b>	9.84	8.99	8.43
6	MOYOBAMBA	JEPELACIO	CATURRA	ORGÁNICO	<b>9.03</b>	7.99	9.43	9.68
7	MOYOBAMBA	JEPELACIO	TÍPICA	CONVENCIONAL	<b>10.85</b>	10.24	12.31	10.00
8	MOYOBAMBA	JEPELACIO	CATIMOR	CONVENCIONAL	<b>10.88</b>	10.34	11.93	10.36
9	MOYOBAMBA	SORITOR	BOURBON	ORGÁNICO	<b>8.14</b>	8.45	8.34	7.65
10	MOYOBAMBA	SORITOR	PACHE	ORGÁNICO	<b>8.81</b>	6.69	11.73	8.02
11	MOYOBAMBA	SORITOR	CATURRA	ORGÁNICO	<b>8.39</b>	7.5	7.88	9.8
12	MOYOBAMBA	MOYOBAMBA	TÍPICA	CONVENCIONAL	<b>8.95</b>	7.21	11.47	8.16
13	MOYOBAMBA	MOYOBAMBA	CATURRA	CONVENCIONAL	<b>11.32</b>	11.23	12.20	10.53
14	MOYOBAMBA	MOYOBAMBA	BOURBON	CONVENCIONAL	<b>12.07</b>	13.34	13.3	9.55
1	RIOJA	PARDOMIGUEL	TÍPICA	CONVENCIONAL	<b>9.05</b>	9.17	7.75	10.22
2	RIOJA	PARDOMIGUEL	CATURRA	CONVENCIONAL	<b>10.35</b>	9.17	11.98	9.91
3	RIOJA	PARDOMIGUEL	CATIMOR	CONVENCIONAL	<b>8.97</b>	9.75	8.63	8.53
4	RIOJA	PARDOMIGUEL	CATIMOR	CONVENCIONAL	<b>8.81</b>	8.59	9.44	8.4
5	RIOJA	NUEVA CAJAMARCA	TÍPICA	CONVENCIONAL	<b>11.5</b>	11.99	12.15	10.35
6	RIOJA	NUEVA CAJAMARCA	CATIMOR	CONVENCIONAL	<b>9.77</b>	10.92	9.13	9.27

7	RIOJA	AWAJUN	BOURBON	ORGÁNICO	<b>9.4</b>	8.79	9.73	9.68
1	LAMAS	ALONSO DE ALVARADO	TIPICA	ORGÁNICO	<b>7.6</b>	7.51	7.13	8.17
2	LAMAS	LAMAS	CATIMOR	CONVENCIONAL	<b>7.78</b>	6.04	9.42	7.87
3	LAMAS	LAMAS	CATIMOR	CONVENCIONAL	<b>11.29</b>	10.49	10.86	12.51
4	LAMAS	LAMAS	TÍPICA	CONVENCIONAL	<b>8.54</b>	6.68	11.05	7.9
5	LAMAS	LAMAS	CATURRA	CONVENCIONAL	<b>10.79</b>	10.33	12.03	10.01
6	LAMAS	LAMAS	CATURRA	CONVENCIONAL	<b>10.7</b>	12.21	10.81	9.09

**Tabla 16.** *Concentración de Cromo en granos de café.*

MUESTRA	PROVINCIA	DISTRITO	VARIETAD	MANEJO	CONCENTRACIÓN Cr (ppm)	REPLICAS 1 (ppm)	REPLICAS 2 (ppm)	REPLICAS 3 (ppm)
1	MOYOBAMBA	JEPELACIO	CATIMOR	ORGÁNICO	<b>0.64</b>	0.64	0.64	0.65
2	MOYOBAMBA	JEPELACIO	CATURRA	ORGÁNICO	<b>1.33</b>	1.32	1.35	1.33
3	MOYOBAMBA	JEPELACIO	CATIMOR	ORGÁNICO	<b>1.34</b>	1.34	1.33	1.34
4	MOYOBAMBA	JEPELACIO	CATIMOR	ORGÁNICO	<b>1.62</b>	1.63	1.6	1.63
5	MOYOBAMBA	JEPELACIO	PACHE	ORGÁNICO	<b>6.09</b>	6.03	6.11	6.14
6	MOYOBAMBA	JEPELACIO	CATURRA	ORGÁNICO	<b>3.00</b>	3.00	3.02	2.97
7	MOYOBAMBA	JEPELACIO	TIPICA	CONVENCIONAL	<b>2.24</b>	2.21	2.33	2.19
8	MOYOBAMBA	JEPELACIO	CATIMOR	CONVENCIONAL	<b>2.02</b>	2.00	2.03	2.03
9	MOYOBAMBA	SORITOR	BOURBON	ORGÁNICO	<b>0.91</b>	0.92	0.91	0.91
10	MOYOBAMBA	SORITOR	PACHE	ORGÁNICO	<b>1.72</b>	1.71	1.74	1.7
11	MOYOBAMBA	SORITOR	CATURRA	ORGÁNICO	<b>1.91</b>	1.89	1.93	1.92
12	MOYOBAMBA	MOYOBAMBA	TIPICA	CONVENCIONAL	<b>3.43</b>	3.41	3.46	3.42

13	MOYOBAMBA	MOYOBAMBA	CATURRA	CONVENCIONAL	<b>4.85</b>	4.84	4.85	4.85
14	MOYOBAMBA	MOYOBAMBA	BOURBON	CONVENCIONAL	<b>2.68</b>	2.66	2.65	2.72
1	RIOJA	PARDO MIGUEL	TÍPICA	CONVENCIONAL	<b>0.75</b>	0.73	0.77	0.74
2	RIOJA	PARDO MIGUEL	CATURRA	CONVENCIONAL	<b>1.68</b>	1.65	1.67	1.71
3	RIOJA	PARDO MIGUEL	CATIMOR	CONVENCIONAL	<b>1.53</b>	1.54	1.53	1.51
4	RIOJA	PARDO MIGUEL	CATIMOR	CONVENCIONAL	<b>1.12</b>	1.10	1.12	1.14
5	RIOJA	NUEVA CAJAMARCA	TÍPICA	CONVENCIONAL	<b>1.34</b>	1.34	1.33	1.35
6	RIOJA	NUEVA CAJAMARCA	CATIMOR	CONVENCIONAL	<b>1.52</b>	1.53	1.49	1.54
7	RIOJA	AWAJUN	BOURBON	ORGÁNICO	<b>1.29</b>	1.28	1.31	1.29
1	LAMAS	ALONSO DE ALVARADO	TÍPICA	ORGÁNICO	<b>0.49</b>	0.50	0.47	0.49
2	LAMAS	LAMAS	CATIMOR	CONVENCIONAL	<b>1.45</b>	1.44	1.46	1.44
3	LAMAS	LAMAS	CATIMOR	CONVENCIONAL	<b>3.52</b>	3.73	3.4	3.44
4	LAMAS	LAMAS	TÍPICA	CONVENCIONAL	<b>2.51</b>	2.51	2.49	2.54
5	LAMAS	LAMAS	CATURRA	CONVENCIONAL	<b>1.46</b>	1.46	1.47	1.46
6	LAMAS	LAMAS	CATURRA	CONVENCIONAL	<b>3.27</b>	3.26	3.26	3.29

**Tabla 17.** *Concentración de Mercurio en granos de café.*

MUESTRA	PROVINCIA	DISTRITO	VARIEDAD	MANEJO	CONCENTRACIÓN Hg (ppm)	REPLICADO 1 (ppm)	REPLICADO 2 (ppm)	REPLICADO 3 (ppm)
1	MOYOBAMBA	JEPELACIO	CATIMOR	ORGÁNICO	ND	ND	ND	ND
2	MOYOBAMBA	JEPELACIO	CATURRA	ORGÁNICO	ND	ND	ND	ND
3	MOYOBAMBA	JEPELACIO	CATIMOR	ORGÁNICO	ND	ND	ND	ND
4	MOYOBAMBA	JEPELACIO	CATIMOR	ORGÁNICO	ND	ND	ND	ND
5	MOYOBAMBA	JEPELACIO	PACHE	ORGÁNICO	ND	ND	ND	ND
6	MOYOBAMBA	JEPELACIO	CATURRA	ORGÁNICO	ND	ND	ND	ND

7	MOYOBAMBA	JEPELACIO	TIPICA	CONVENCI ONAL	<b>ND</b>	ND	ND	ND
8	MOYOBAMBA	JEPELACIO	CATIMOR	CONVENCI ONAL	<b>ND</b>	ND	ND	ND
9	MOYOBAMBA	SORITOR	BOURBON	ORGÁNICO	<b>ND</b>	ND	ND	ND
10	MOYOBAMBA	SORITOR	PACHE	ORGÁNICO	<b>ND</b>	ND	ND	ND
11	MOYOBAMBA	SORITOR	CATURRA	ORGÁNICO	<b>ND</b>	ND	ND	ND
12	MOYOBAMBA	MOYOBAM BA	TIPICA	CONVENCI ONAL	<b>ND</b>	ND	ND	ND
13	MOYOBAMBA	MOYOBAM BA	CATURRA	CONVENCI ONAL	<b>ND</b>	ND	ND	ND
14	MOYOBAMBA	MOYOBAM BA	BOURBON	CONVENCI ONAL	<b>ND</b>	ND	ND	ND
1	RIOJA	PARDO MIGUEL	TÍPICA	CONVENCI ONAL	<b>ND</b>	ND	ND	ND
2	RIOJA	PARDO MIGUEL	CATURRA	CONVENCI ONAL	<b>ND</b>	ND	ND	ND
3	RIOJA	PARDO MIGUEL	CATIMOR	CONVENCI ONAL	<b>ND</b>	ND	ND	ND
4	RIOJA	PARDO MIGUEL	CATIMOR	CONVENCI ONAL	<b>ND</b>	ND	ND	ND
5	RIOJA	NUEVA CAJAMARC A	TIPICA	CONVENCI ONAL	<b>ND</b>	ND	ND	ND
6	RIOJA	NUEVA CAJAMARC A	CATIMOR	CONVENCI ONAL	<b>ND</b>	ND	ND	ND
7	RIOJA	AWAJUN	BOURBON	ORGÁNICO	<b>ND</b>	ND	ND	ND
1	LAMAS	ALONSO DE ALVARADO	TIPICA	ORGÁNICO	<b>ND</b>	ND	ND	ND
2	LAMAS	LAMAS	CATIMOR	CONVENCI ONAL	<b>ND</b>	ND	ND	ND
3	LAMAS	LAMAS	CATIMOR	CONVENCI ONAL	<b>ND</b>	ND	ND	ND
4	LAMAS	LAMAS	TÍPICA	CONVENCI ONAL	<b>ND</b>	ND	ND	ND
5	LAMAS	LAMAS	CATURRA	CONVENCI ONAL	<b>ND</b>	ND	ND	ND
6	LAMAS	LAMAS	CATURRA	CONVENCI ONAL	<b>ND</b>	ND	ND	ND

ND: no detectado.

## ANEXO 03. - TOMAS FOTOGRÁFICAS

### ❖ Recolección de las muestras



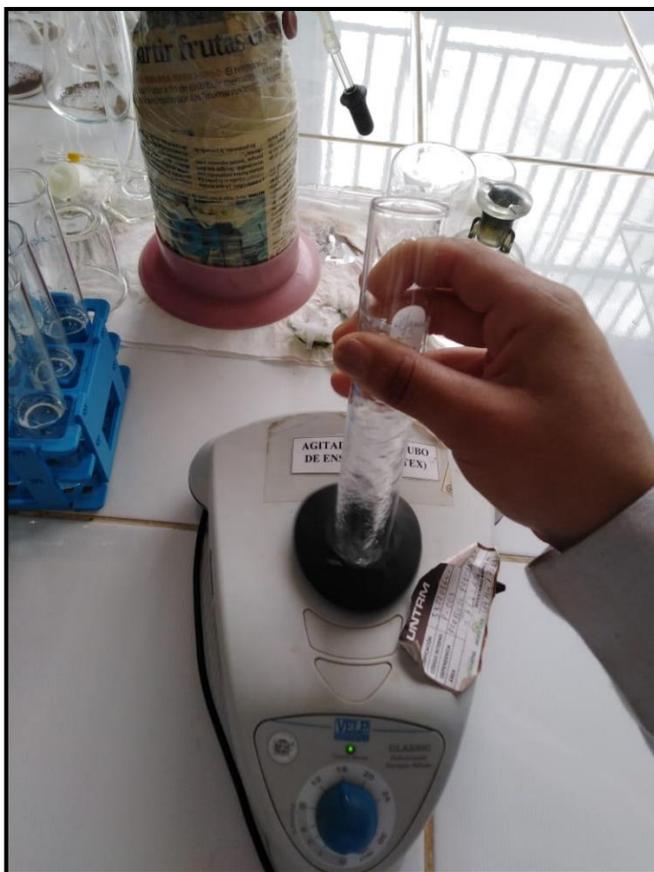
*Nota: 1. Recolección de muestra manualmente Pamashto-Lamas., 2. Recolección de Muestras de la cooperativa "APROECO" – Moyobamba, 3. Recolección de muestras de la empresa PERHUSA (PERAES HUANCARUNA S.A.C) y 4. Muestras de café pergamino.*

❖ Preparación de las muestras en laboratorio.



*Nota: 1. Nos muestra la molienda de las muestras de café., 2. Para la extracción de la muestra: Se pesó 1 gramo de cada una de las muestras molidas., 3. Filtrando las muestras de café 4. Como último paso para la extracción de muestras se aforo las fiolas con agua destilada quedando así listas para correr el análisis de metales pesados.*

❖ **Análisis de metales pesados.**



*Nota: Antes de correr los análisis en el equipo (Agilent 4100 MP-AES, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EE.UU.) se agitaron cada una de las muestras.*