

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



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

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

**EFFECTO DEL MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE LA  
BEBIDA DE CAFÉ EN LA CONCENTRACIÓN DE  
METALES PESADOS**

**Autora: Bach. Luz Mileni Santillan Santillan**

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

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

**CHACHAPOYAS – PERÚ**

**2023**

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



## 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): Santillan Santillan Luz Mileni  
DNI N°: 71942102  
Correo electrónico: 7194210272@untrm.edu.pe  
Facultad: Ingeniería y Ciencias Agrarias  
Escuela Profesional: Ingeniería Agroindustrial

#### 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

Efecto del método de extracción de la bebida de café en la concentración de metales pesados

#### 3. Datos de asesor 1

Apellidos y nombres: Guadalupe Chugui Grobert Amado  
DNI, Pasaporte, C.E N°: \_\_\_\_\_  
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: \_\_\_\_\_  
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)

[https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde\\_ford.html](https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html)  
2.11.00 -- otras Ingenierías, otras tecnologías; 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, 06 diciembre / 2022

Firma del autor 1

Firma del Asesor 1

Firma del autor 2

Firma del Asesor 2

## **DEDICATORIA**

En primer lugar, a Dios por darme vida, salud, conocimiento, inteligencia y por guiarme para enfrentar los retos y obstáculos que se presentan constantemente.

A mis padres Tobias y Susana, quienes con su paciencia, amor y esfuerzo me han apoyado para cumplir esta meta, gracias por inculcarme la perseverancia y valentía, para no temer las adversidades porque Dios siempre está conmigo.

A mis hermanos Gledis y Alexander por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias.

A toda mi familia porque con sus consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

A mis abuelitos Juan e Hylde, que Dios los tiene en su gloria, gracias por inculcarme tantos valores, por cuidarme desde muy pequeña, por todos los consejos que me brindaron.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a mis amigas, Diana, Alejandra y Delis por apoyarme cuando más las necesite, por extender su mano en momentos difíciles y por la motivación que me daban cada día, gracias amigas, siempre las llevo en mi corazón.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien siempre nos cuida, protege y guía para ser mejores cada día. Gracias por darme la inteligencia, fuerza y voluntad para cumplir con éxito una meta más en vida.

A mis padres por ser mi pilar fundamental y haberme apoyado incondicionalmente, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron durante este trayecto de mi vida.

Mi grande y sincero agradecimiento a mi asesor Ms. Grobert Amado Guadalupe Chuqui, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de esta investigación.

Al personal que labora en el laboratorio del INDES, quienes con las enseñanzas de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional.

Al Proyecto del Sistema Nacional de Inversión Pública del Perú – SNIP N° 352439 “Creación de los Servicios del Centro de Investigación, Innovación y Transferencia Tecnológica de Café – CEINCAFE.

A las Ing. Pati Llanina Mori Culqui y Marilu Mestanza Mendoza, por todo el apoyo incondicional durante la ejecución del trabajo de investigación, gracias a cada una de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Mi más sincero agradecimiento y admiración a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, por acogerme en las aulas y brindarme la formación profesional.

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

JORGE LUIS MAICELO QUINTANA Ph. D.

**RECTOR**

Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES

**VICERRECTOR ACADÉMICO**

Dra. MARÍA NELLY LUJÁN ESPINOZA

**VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN**

Dr. ERICK ALDO AUQUÍÑIVÍN SILVA

**DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS**

## VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS



**UNTRM**

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

### ANEXO 3-L

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

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (  )/Profesional externo (  ), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Efecto del método de extracción de la bebida de café en la concentración de metales pesados. ;  
del egresado Luz Mileni Santillan Santillan  
de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias,  
Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial,  
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, 06 de diciembre de 2022

  
Firma y nombre completo del Asesor

# JURADO EVALUADOR DE LA TESIS

JURADO EVALUADOR DE LA TESIS



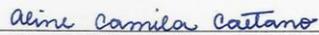
---

**MsC. SEGUNDO GRIMALDO CHAVEZ QUINTANA**  
**PRESIDENTE**



---

**Ms. ROBERT JAVIER CRUZ ALEGUI FERNANDEZ**  
**SECRETARIO**



---

**Mg. Sc. ALINE CAMILA CAETANO**

**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:

Efecto del método de extracción de la bebida de café en la  
concentración de metales pesados

presentada por el estudiante ( )/egresado (X) Luz Mileni Santillan Santillan

de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial

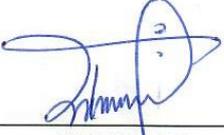
con correo electrónico institucional 7194210272@untrm.edu.pe

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

- La citada Tesis tiene 18 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor (X) / igual ( ) al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- La citada Tesis tiene \_\_\_\_\_ % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.



Chachapoyas, 13 de febrero del 2023

  
SECRETARIO

  
PRESIDENTE

Aline Camila Coetane  
VOCAL

OBSERVACIONES:

.....  
.....

# ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS



**UNTRM**

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

## ANEXO 3-5

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

En la ciudad de Chachapoyas, el día 02 de Marzo del año 2023, siendo las 10 horas, el aspirante: Luz Mileni Santillan Santillon, asesorado por Ing. Ms.C. Grobert Amado Guadalupe Chugui defiende en sesión pública presencial () / a distancia ( ) la Tesis titulada: Efecto del método de extracción de la bebida de café en la concentración de metales pesados.

para obtener el Título Profesional de Ingeniera Agroindustrial, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: Ms.C. Segundo Grimaldo Chavez Quintana

Secretario: Ms. Robert Javier Cruzalequi Fernández

Vocal: Mg.Sc. Aline Camila Coetano

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 10:38 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.

SECRETARIO

PRESIDENTE

Aline Camila Coetano

VOCAL

OBSERVACIONES:

## ÍNDICE O CONTENIDO GENERAL

|   |             |
|---|-------------|
| <b>AUTORIZACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM.....</b>            | <b>ii</b>   |
| <b>DEDICATORIA.....</b>   | <b>iii</b>  |
| <b>AGRADECIMIENTO.....</b>  | <b>iv</b>   |
| <b>AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS.....</b> | <b>v</b>    |
| <b>VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS.....</b>  | <b>vi</b>   |
| <b>JURADO EVALUADOR DE LA TESIS.....</b>  | <b>vii</b>  |
| <b>CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS.....</b>  | <b>viii</b> |
| <b>ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS.....</b>  | <b>ix</b>   |
| <b>ÍNDICE O CONTENIDO GENERAL.....</b>  | <b>x</b>    |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>  | <b>xii</b>  |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>   | <b>xiii</b> |
| <b>RESUMEN.....</b>   | <b>xv</b>   |
| <b>ABSTRACT.....</b>  | <b>xvi</b>  |
| <b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>   | <b>17</b>   |
| <b>II. MATERIAL Y MÉTODOS.....</b>  | <b>20</b>   |
| 2.1. Material de estudio.....   | 20          |
| 2.2. Aspectos preliminares para la extracción de la bebida de café.....                     | 20          |
| 2.3. Diseño de la investigación.....  | 21          |
| 2.4. Métodos.....   | 21          |
| 2.4.1. Extracción de la bebida de café.....   | 21          |
| 2.4.1.1. Expreso.....   | 21          |
| 2.4.1.2. Sifón oriental.....  | 22          |
| 2.4.1.3. Prensa Francesa.....   | 22          |
| 2.4.1.4. V60.....   | 23          |
| 2.4.1.5. Chemex.....  | 24          |
| 2.4.1.6. Moka o Italiana.....   | 24          |
| 2.4.2. Análisis de metales pesados (As, Cd, Cr, Hg y Pb).....                               | 25          |
| 2.5. Análisis de datos.....   | 26          |
| <b>III. RESULTADOS.....</b>   | <b>27</b>   |
| 3.1. Contenido de metales pesados en grano de café oro verde.....                           | 27          |

|                     |  |           |
|---------------------|--|-----------|
| 3.2.                | Contenido de Arsénico .....                                      | 27        |
| 3.3.                | Contenido de Cadmio.....   | 28        |
| 3.4.                | Contenido de Cromo .....   | 29        |
| 3.5.                | Contenido de Mercurio .....                                      | 29        |
| 3.6.                | Contenido de Plomo.....  | 30        |
| 3.7.                | Tostado Molienda por método de extracción de bebida de café..... | 30        |
| <b>IV.</b>          | <b>DISCUSIÓN .....</b>   | <b>32</b> |
| <b>V.</b>           | <b>CONCLUSIONES .....</b>  | <b>35</b> |
| <b>VI.</b>          | <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                           | <b>36</b> |
| <b>ANEXOS</b> ..... |  | <b>41</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1.</b> <i>Condiciones óptimas para la elaboración de bebida de café.....</i>                        | 20 |
| <b>Tabla 2.</b> <i>Contenido de metal pesado de acuerdo al tostado, molienda y método de extracción.....</i> | 31 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.</b> Extracción mediante máquina Expreso .....  | 21 |
| <b>Figura 2.</b> Extracción mediante Sifón Oriental .....   | 22 |
| <b>Figura 3.</b> Extracción mediante Prensa Francesa .....  | 23 |
| <b>Figura 4.</b> Extracción mediante filtro V60 .....   | 23 |
| <b>Figura 5.</b> Extracción mediante filtro Chemex.....   | 24 |
| <b>Figura 6.</b> Extracción mediante Moka o Italiana.....   | 25 |
| <b>Figura 7.</b> Concentración de metales pesados en café oro .....   | 27 |
| <b>Figura 8.</b> Concentración de Arsénico por método de extracción.....                                      | 28 |
| <b>Figura 9.</b> Concentración de Cadmio por método de extracción .....                                       | 28 |
| <b>Figura 10.</b> Concentración de Cromo por método de extracción .....                                       | 29 |
| <b>Figura 11.</b> Concentración de Mercurio por método de extracción .....                                    | 29 |
| <b>Figura 12.</b> <i>Concentración de Plomo por método de extracción</i> .....                                | 30 |
| <b>Figura 13.</b> Contenido de metal pesado de acuerdo al tueste y molienda en máquina expreso .....          | 41 |
| <b>Figura 14.</b> Contenido de metal pesado de acuerdo al tueste y molienda en filtro chemex .....            | 41 |
| <b>Figura 15.</b> Contenido de metal pesado de acuerdo al tueste y molienda en sifón oriental .....           | 42 |
| <b>Figura 16.</b> Contenido de metal pesado de acuerdo al tueste y molienda en filtro V60 .                   | 42 |
| <b>Figura 17.</b> Contenido de metal pesado de acuerdo al tueste y molienda en cafetera Moka o Italiana ..... | 43 |
| <b>Figura 18.</b> Contenido de metal pesado de acuerdo al tueste y molienda en prensa francesa .....          | 43 |
| <b>Figura 19.</b> Recepción de granos de café pergamino .....   | 44 |
| <b>Figura 20.</b> Café oro .....  | 44 |
| <b>Figura 21.</b> Tostado del café .....  | 45 |
| <b>Figura 22.</b> Café con tostado claro (Agtron 85) .....  | 45 |
| <b>Figura 23.</b> Café con tostado medio (Agtron 65) .....  | 46 |
| <b>Figura 24.</b> Café con tostado medio (Agtron 35) .....  | 46 |
| <b>Figura 25.</b> Molienda del café .....   | 47 |
| <b>Figura 26.</b> Molienda fina, media y gruesa de café con diferente tueste .....                            | 47 |
| <b>Figura 27.</b> Preparación de bebida de café en máquina expreso .....                                      | 48 |
| <b>Figura 28.</b> Preparación de bebida de café en cafetera Moka o Italiana .....                             | 48 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 29.</b> Preparación de bebida de café en filtro V60 .....    | 49 |
| <b>Figura 30.</b> Preparación de bebida de café en filtro Chemex ..... | 49 |

## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del método de extracción de la bebida de café en la concentración de metales pesados. Se evaluó la concentración de metales pesados (As, Cd, Cr, Hg y Pb) de la bebida de café procedente de la ciudad de Moyobamba. Las bebidas fueron preparadas con 6 métodos de extracción (expreso, sifón oriental, prensa francesa, moka o italiana, V60 y chemex). Los resultados revelan que hubo diferencias significativas en la concentración de plomo por los diversos métodos de extracción, donde el valor menor se presenta en el método de extracción Sifón Oriental, mientras que el valor mayor en la Prensa Francesa. La concentración de cadmio y mercurio fueron menores al Límite mínimo de Detección (LD.) (0.005 ppm), valores similares al grano de café oro verde. El contenido de los metales pesados presentes en la muestra de grano de café oro verde analizado presenta un valor medio de arsénico de 7.640 ppm, seguido por el plomo con 3.455 ppm y el cromo con 0.822 ppm. Los resultados evidenciaron que el contenido de metales pesados tiene tendencia a disminuir debido a la lixiviación que ocurre durante la elaboración de la bebida, ya que no todo el contenido de metales pesados pasa a la bebida

**Palabras clave:** Lixiviación, límite mínimo de detección, infusión

## **ABSTRACT**

The objective of this study was to evaluate the effect of the extraction method of the coffee drink on the concentration of heavy metals. The concentration of heavy metals (As, Cd, Cr, Hg and Pb) of the coffee drink from the city of Moyobamba was evaluated. The drinks were prepared with 6 extraction methods (espresso, oriental siphon, French press, mocha or Italian, V60 and chemex). The results reveal that there were significant differences in the concentration of lead by the various extraction methods, where the lowest value is presented in the Oriental Siphon extraction method, while the highest value is in the French Press. The concentration of cadmium and mercury were lower than the Minimum Detection Limit (LD.) (0.005 ppm), values similar to green gold coffee beans. The content of heavy metals presents in the green gold coffee bean sample analyzed presents an average value of arsenic of 7,640 ppm, followed by lead with 3,455 ppm and chromium with 0,822 ppm. The results showed that the heavy metal content has a tendency to decrease due to the leaching that occurs during the elaboration of the drink, since not all the heavy metal content passes into the drink.

**Keywords:** Leaching, minimum detection limit, infusion

## **I. INTRODUCCIÓN**

El café es una de las bebidas más populares en todo el mundo y de creciente importancia en la economía mundial para la mayoría de los países productores, especialmente los países en desarrollo (Al-Abdulkader et al., 2018). Diversos estudios notan el efecto beneficioso del consumo moderado de café como la regulación del nivel de azúcar en la sangre, prevención de enfermedades del sistema circulatorio y del sistema digestivo, cáncer, enfermedades de Parkinson y Alzheimer (Kotyczka et al., 2014; Yilmaz et al., 2014). Además, de ser una rica fuente de compuestos que poseen actividades antioxidantes y de eliminación de radicales libres (Sato et al., 2011; Wei & Tanokura, 2015).

Lamentablemente, el café también puede presentar compuestos tóxicos para la salud, como los metales pesados, elementos que se acumulan en la cadena alimentaria (Pigozzi et al., 2018; Winiarska-Mieczan et al., 2021). Entre los productos químicos que contribuyen a aumentar el contenido de metales pesados en el suelo se encuentran los biosólidos, que suelen contener altos niveles de cadmio, cobre, cromo, plomo, níquel y zinc (Pigozzi et al., 2018). La acumulación de metales pesados es consecuencia de una gestión incorrecta de los residuos y de la rápida industrialización y urbanización de las regiones agrícolas, se forman como resultado del uso de fertilizantes agrícolas y agentes fitosanitarios, incluyendo pesticidas y fungicidas que contienen mercurio y arsénico (Kowalska, 2021). La actividad humana, las aguas residuales y residuos de los hogares contaminan el agua con metales pesados (Tripathy et al., 2015). Los metales pesados entran en la cadena alimentaria, apareciendo en diversas concentraciones en los alimentos, la absorción y la bioacumulación de esas sustancias tienen un efecto negativo en la salud humana (Kowalska, 2021). La contaminación de los alimentos es un problema grave porque los metales pesados pueden ser absorbidos por el tracto digestivo y tener efectos nocivos en muchos tejidos. Algunos metales son tóxicos en dosis relativamente bajas y además se acumulan gradualmente en los tejidos (Nordberg et al., 2014). Los metales alteran la homeostasis iónica y la regulación mineral, inducen daño oxidativo a las estructuras celulares, generan daño en el ADN e inducen la transformación oncogénica (Nedzarek et al., 2013).

La extracción del café es el último paso en su proceso de producción antes de ser consumido. La elaboración del café es una extracción sólido-líquido donde los parámetros del proceso tienen un efecto significativo en la cinética de extracción de los diferentes compuestos presentes en el café tostado. Si bien la extracción del café generalmente solo toma unos minutos, el proceso afecta directamente la calidad final de la infusión. La extracción de cafeína se realiza a diferentes escalas, como la extracción industrial para producir café instantáneo o en electrodomésticos para producir café monodosis (Moroney et al., 2015). Los métodos de preparación del café varían según el entorno geográfico, cultural y social y las preferencias personales (Mestdagh et al., 2017). Sin embargo, en todos los casos, se requiere el contacto íntimo entre el agua y los sólidos del café tostado para la transferencia de los sabores del café del grano molido a la matriz del agua (Moroney et al., 2015), donde el objetivo final, independientemente de los métodos utilizados, es producir bebidas de café con la mayor calidad posible (Cordoba et al., 2020).

En términos generales, las técnicas de elaboración del café se pueden dividir en procesos de alta y baja temperatura (Janda et al., 2020; Cordoba et al., 2020; Muzykiewicz-Szymańska et al., 2021). Los métodos de preparación de café caliente más populares incluyen la técnica turca, el expreso, los filtros (V60, Aeropress, prensa francesa) y los métodos simples de maceración (Muzykiewicz-Szymańska et al., 2021; Caprioli et al., 2014). El café turco se prepara hirviendo el café en agua, mientras que el método simple de preparación es mezclar granos de café molidos con agua caliente (85–96°C) y dejarlos reposar durante aproximadamente 3–5 minutos (Janda et al., 2020; Muzykiewicz-Szymańska et al., 2021). El expreso es una de las bebidas favoritas de los consumidores. Durante el proceso de preparación, el café molido se presuriza brevemente con agua caliente usando una percoladora para producir una pequeña dosis de expreso (Caprioli et al., 2014; Kim & Kang, 2018); (S. Angeloni et al., 2021). De las diversas formas de utilizar los filtros, la más conocida es la V60. En el método V60, el café molido se prepara con agua a 96–98 °C en una unidad de preparación cónica. Esta cafetera consta de tres partes: el gotero de tapa cónica, el papel de filtro y el recipiente de vidrio. Vierta agua en el V60 para crear un pequeño hoyo en medio del café molido (de Figueiredo Tavares & Mourad, 2020; G. Angeloni et al., 2019). Las técnicas de preparación del café que no utilizan altas temperaturas durante la extracción incluyen el goteo

en frío, el macerado o el prensado francés en frío (Cordoba et al., 2019; Rao et al., 2020). La nueva tecnología de maceración en frío mejora la calidad y lo hace similar en sabor a las bebidas calientes de café y es una extracción más eficiente de compuestos como el ácido clorogénico, el ácido gálico, la cafeína, la trigonelina, el 5-(hidroximetil) furfural y el entorno ideal de lípidos; las bebidas Hardtank incluso tienen 4 veces más lípidos que el café frío clásico y 5 veces más que el café caliente, lo que contribuye al desarrollo de aroma y sabor (Stanek et al., 2021). Los parámetros de procesamiento y las variables en el proceso de extracción del café contribuyen en gran medida al sabor, la calidad y la aceptación del proceso de extracción del café por parte del consumidor (Moroney et al., 2015; Corrochano et al., 2015).

Los estudios en los métodos de extracción o preparación se han centrado sobre los aspectos de calidad, por ende, en este estudio se tiene como objetivo evaluar el efecto del método de extracción de la bebida de café en la concentración de metales pesados.

## II. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Material de estudio

Las muestras de café pergamino (*Coffea arabica* L.) fueron recolectadas de un centro de acopio “Kafi Burga” de la provincia de Moyobamba región San Martín.

### 2.2. Aspectos preliminares para la extracción de la bebida de café

Para la extracción de la bebida de café mediante los 6 métodos, se tuvo en cuenta los parámetros establecidos por el Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES).

**Tabla 1**

*Condiciones óptimas para la elaboración de bebida de café*

| Método                 | Fórmula de infusión               | Tueste         | Molienda       | Tiempo total de preparación | Tiempo de contacto agua - café |
|------------------------|-----------------------------------|----------------|----------------|-----------------------------|--------------------------------|
| <b>Expreso</b>         | 17 g de café                      | Medio / Oscuro | Fino           | 20 – 30 segundos            | 30 segundos                    |
| <b>Sifón oriental</b>  | 7.5 g de café –<br>120 ml de agua | Medio          | Medio          | 2:30 + 1:00 minutos         | 2 minutos 30 segundos          |
| <b>Prensa francesa</b> | 7.5 g de café –<br>120 ml de agua | Oscuro         | Grueso         | 3 – 4 minutos               | 3 minutos                      |
| <b>Moka o italiana</b> | 35 g de café –<br>400 ml de agua  | Medio / Oscuro | Grueso         | 6 – 7 minutos               | 2 -3 minutos                   |
| <b>V60</b>             | 7.5 g de café –<br>120 ml de agua | Medio          | Medio          | 2 - 3 minutos               | 2 minutos 30 segundos          |
| <b>Chemex</b>          | 7.5 g de café –<br>120 ml de agua | Medio          | Medio / Grueso | 3 – 4 minutos               | 3 minutos 30 segundos          |

### 2.3. Diseño de la investigación

Se realizó un diseño unifactorial 6A. La variable estudiada fue el método de extracción, con seis (06) métodos de extracción: expreso, sifón oriental, prensa francesa, moka o italiana, V60 y chemex. Todos los tratamientos se ejecutaron por triplicado.

### 2.4. Métodos

#### 2.4.1. Extracción de la bebida de café

Para los 5 métodos de extracción con excepción de la Moka o Italiana se modificó el método descrito por Angeloni et al (2019). Además, se tuvo en cuenta la fórmula de infusión detallada en la Tabla 1.

##### 2.4.1.1. Expreso

Se utilizó una máquina expreso (Quality Espresso), los parámetros de extracción fueron: tostado oscuro, molienda fina, temperatura del agua 92 °C, presión del agua 1.3 bar y 30 segundos de percolación que a diferencia del método ellos utilizaron 9 bar.

#### Figura 1

*Extracción mediante máquina Expreso*

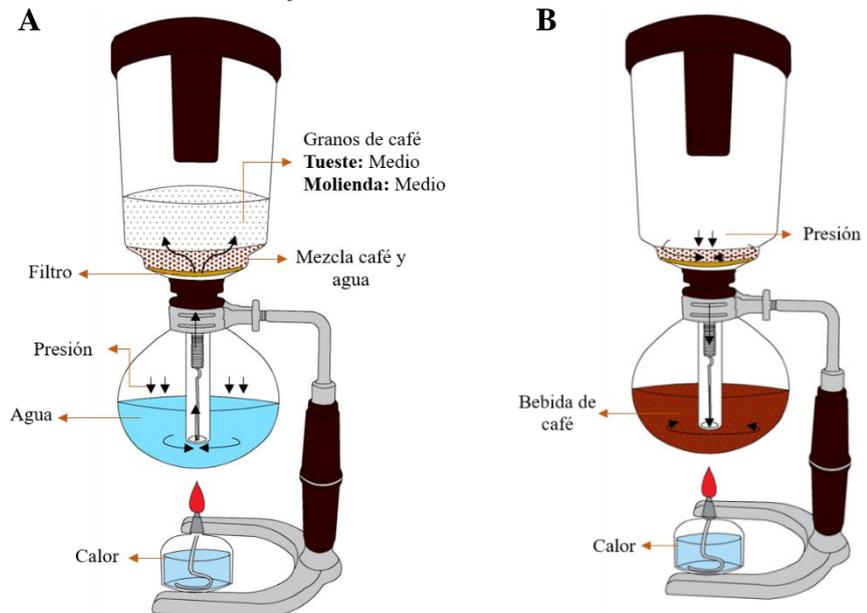


### 2.4.1.2. Sifón oriental

Se utilizó una cafetera de 3 tazas, esta cafetera consta de 2 partes, en la parte inferior se colocó 120ml de agua a 92°C y en la parte superior donde se encuentra el filtro se colocó 7.5 g de café con tostado medio y molienda media, a continuación se colocó el mechero debajo de la cafetera hasta que el agua suba por el tallo para humedecer el grano de café como se ve en la figura A, el tiempo de contacto entre el agua y el café fue de 2 minutos con 30 segundos, luego se retira la fuente de calor y se espera 1 minuto para que la bebida de café descienda como se observa en la figura B y finalmente se retiró el tallo y se oxigenó el café.

**Figura 2**

*Extracción mediante Sifón Oriental*

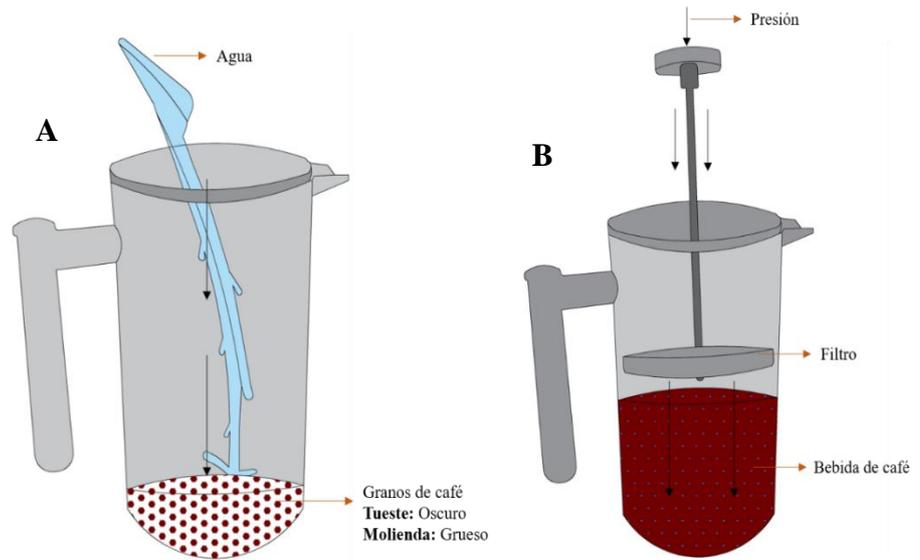


### 2.4.1.3. Prensa Francesa

Se utilizó 7.5 g de café con tueste oscuro y molienda gruesa, se colocó el café y se acomodó uniformemente dentro de la cafetera, luego se agregó 120 ml de agua a 92 °C, así como se muestra en la figura A, esta mezcla se elaboró durante 3 minutos y después se presionó el émbolo para atrapar el café molido en el fondo de la cafetera, como se ve en la figura B.

**Figura 3**

*Extracción mediante Prensa Francesa*

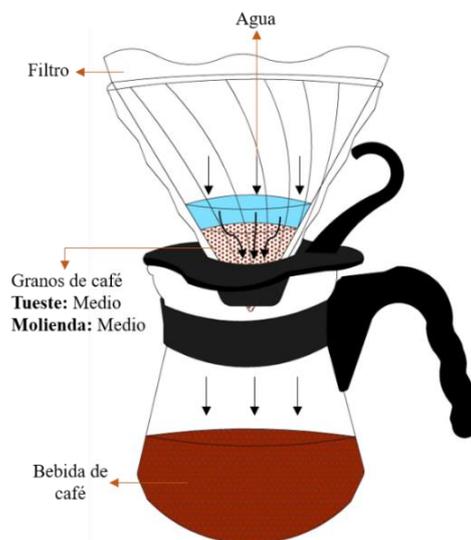


**2.4.1.4. V60**

Se realizó en una cafetera de 5 tazas, se colocó 7.5 g de café con tostado medio y molienda media en el filtro de papel, luego se hizo una pre infusión agregando agua para mojar los granos de café, una vez mojados se espera hasta completar los primeros 30 segundos, a continuación, se siguió agregando agua en círculos concéntricos hasta completar los 120 ml de agua a 83 °C y se dejó vaciar durante 2 minutos.

**Figura 4**

*Extracción mediante filtro V60*

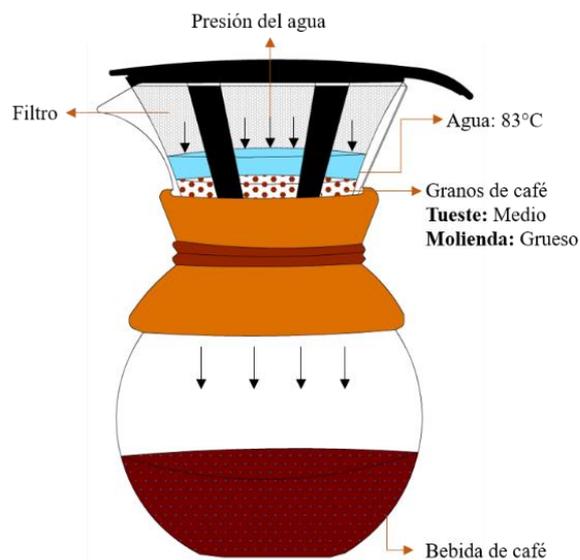


#### 2.4.1.5. Chemex

Se colocó con 7.5g de café con tostado medio y molienda gruesa en el filtro, luego se hizo una pre infusión agregando agua para mojar los granos de café, una vez mojados se espera hasta completar los primeros 30 segundos, a continuación, se siguió agregando agua en círculos concéntricos hasta completar los 120 ml de agua a 83 °C y se dejó vaciar durante 3 minutos.

#### Figura 5

*Extracción mediante filtro Chemex*

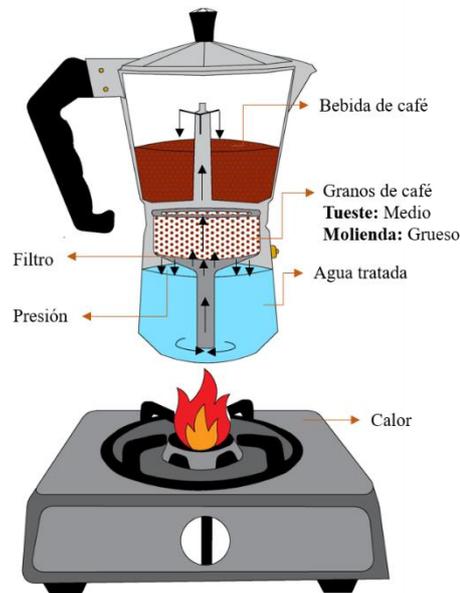


#### 2.4.1.6. Moka o Italiana

Esta bebida de café se elaboró modificando el método descrito por Navarini et al., (2009). Se realizó en una cafetera de 3 tazas, se colocó 35g de café llenando el embudo, este café tenía tueste medio y molienda gruesa, se agregó 400 ml de agua en el tanque, así como se muestra en la figura 6. Se ha utilizado una estufa eléctrica para calentar la cafetera durante un tiempo de 2 a 3 minutos, debido a la temperatura del agua 92 °C, el vapor pasa por el filtro permitiendo la extracción del café, se retiró de la estufa cuando se observó que salían burbujas en vez de café.

**Figura 6**

*Extracción mediante Moka o Italiana*



#### **2.4.2. Análisis de metales pesados (As, Cd, Cr, Hg y Pb)**

Los metales pesados se determinaron mediante espectroscopia de emisión atómica para MP-AES, adecuación de metodología para ICP (APHA AWWAWEF, 2017). Se midió 10 ml de bebida de café y se transfirió a un matraz previamente identificado. Los matraces se colocaron dentro de la mufla a una temperatura de 150 °C por 2 horas. Culminado el tiempo, se apagó el sistema y se dejó enfriar para poder remover el matraz. Se trabajó en un cámara extractora donde se agregó 1 ml de HNO<sub>3</sub> y se realizó la digestión durante 2 horas a 150 °C. Luego las soluciones de muestras se transfirieron a filtración en papel Whatman de grado 42 y se agregó agua destilada para llevar el volumen a 25 ml para el análisis.

La espectroscopia de emisión atómica de plasma de microondas Agilent, marca Agilent Technologies y modelo 4100 MP-AES, equipado con una antorcha estándar, un nebulizador Inert OneNeb y cámara de pulverización ciclónica de vidrio de doble paso Agilent Technologies. El nitrógeno se obtuvo del aire utilizando un generador de nitrógeno marca Agilent Technologies y modelo Agilent 4.107. La

velocidad de la bomba se fijó en 15 rpm. Antes de la lectura de las muestras, se configuró 12 s para el tiempo de consumo, 12 s para el tiempo de estabilización de la antorcha, 30 s para el tiempo de enjuague. El tiempo de lectura fue de 5 s. La intensidad espectral fue 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. Se seleccionó 491 nm para la cuantificación de As, Cd, Cr, Hg y Pb.

Antes de la lectura, el equipo fue calibrado utilizando soluciones estándar de cada elemento (As, Cd, Cr, Hg y Pb) en diferentes concentraciones, preparadas a partir de una solución estándar de 1.000 ppm. Las soluciones estándar utilizadas fueron de la marca Agilent, ubicadas en el área de espectrometría de LABISAG. Tras cada lectura, el equipo recuperaba tanto la concentración como la intensidad sin necesidad de enriquecer las muestras.

## **2.5. Análisis de datos**

El análisis estadístico de los datos se efectuó con el programa SPSS versión 25. Se comparó los valores mediante el Análisis de Varianza (ANOVA) y una prueba post hoc Tukey HDS.

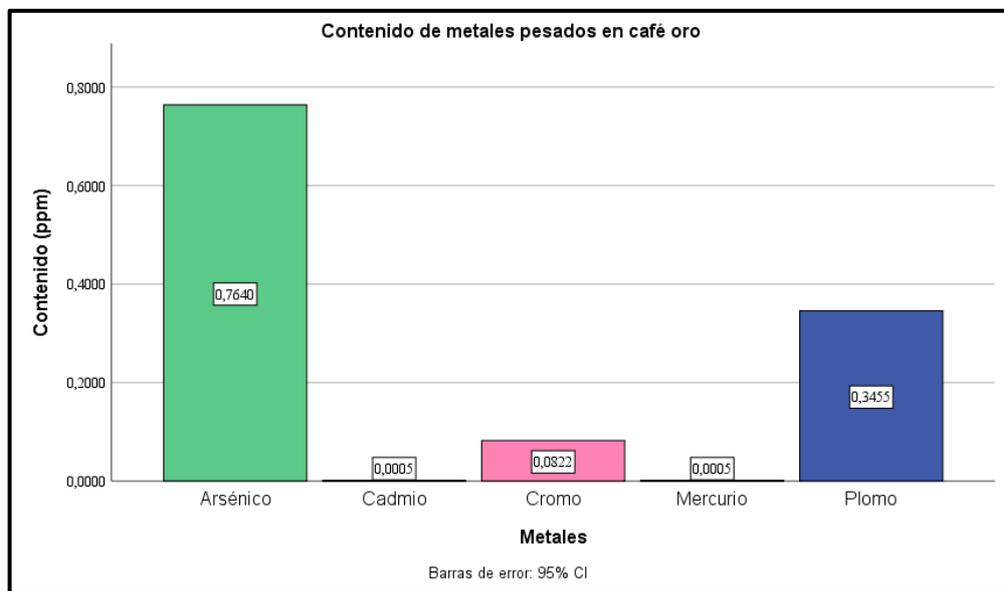
### III. RESULTADOS

#### 3.1. Contenido de metales pesados en grano de café oro verde

La Figura 7 muestra el contenido de los metales pesados presentes en el café oro. El metal pesado que prevalece es el arsénico con valor medio de 7.640 ppm, seguido por el plomo con 3.455 ppm y el cromo con 0.822 ppm. En el grano de café oro verde la concentración de cadmio y mercurio fueron menores al Límite mínimo de Detección (LD.) (0.005 ppm).

**Figura 7**

*Concentración de metales pesados en café oro*

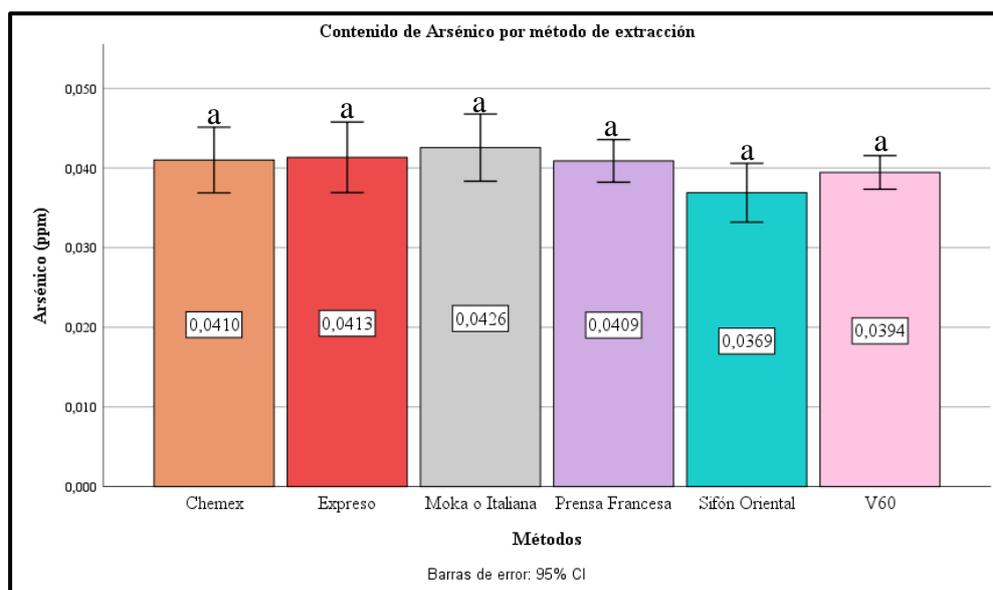


#### 3.2. Contenido de Arsénico

La Figura 8 muestra el contenido de arsénico por cada método de extracción, con valores medios que oscilan entre 0.369 a 0.426 ppm. Los resultados indican que no hubo diferencias significativas en la concentración de arsénico por los diversos métodos de extracción ( $F = 1.456$ ,  $p = 0,222$ ). Se utilizó el test post hoc de Tukey para examinar las diferencias entre los diferentes métodos de extracción.

**Figura 8**

*Concentración de Arsénico por método de extracción*



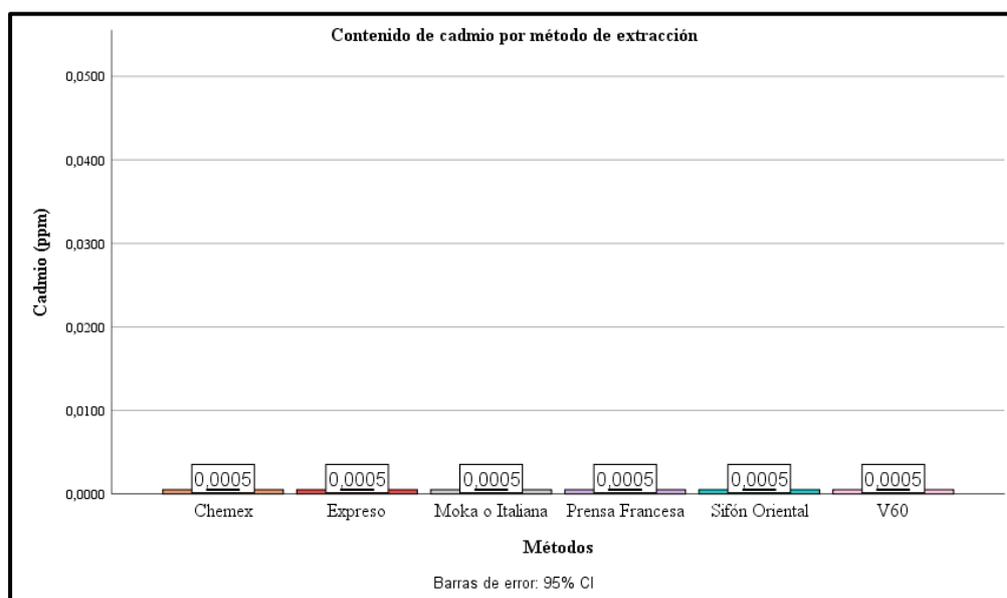
Letras diferentes indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95 % obtenido mediante Test de Tukey,  $p < 0.05$

### 3.3. Contenido de Cadmio

El contenido de cadmio por cada método de extracción en todos los métodos de extracción es menor al LD. (0.005 ppm) (Figura 9).

**Figura 9**

*Concentración de Cadmio por método de extracción*

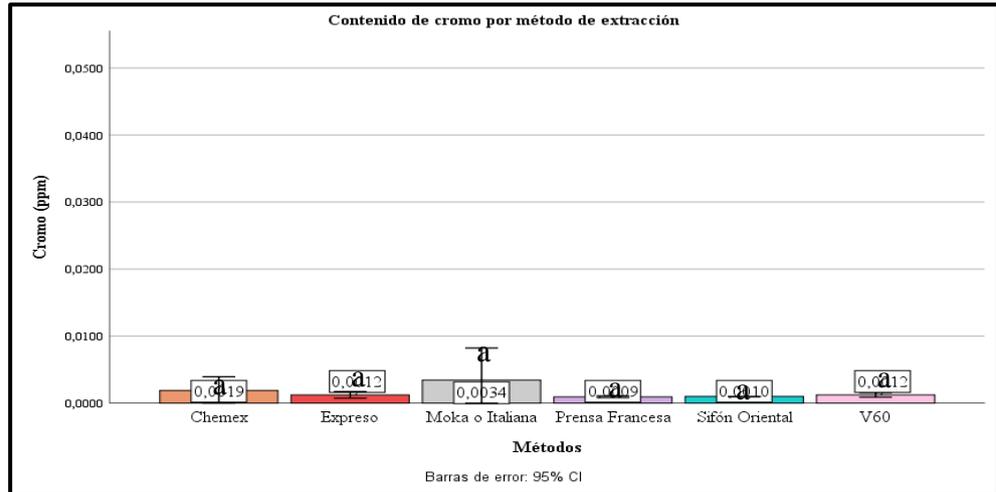


### 3.4. Contenido de Cromo

La Figura 10 muestra el contenido de cromo, con valores medios que oscilan entre 0.009 a 0.034 ppm. Los resultados indican que no hubo diferencias significativas en la concentración de cromo por los diversos métodos de extracción ( $F = 1.035$ ,  $p = 0,408$ ).

**Figura 10**

*Concentración de Cromo por método de extracción*



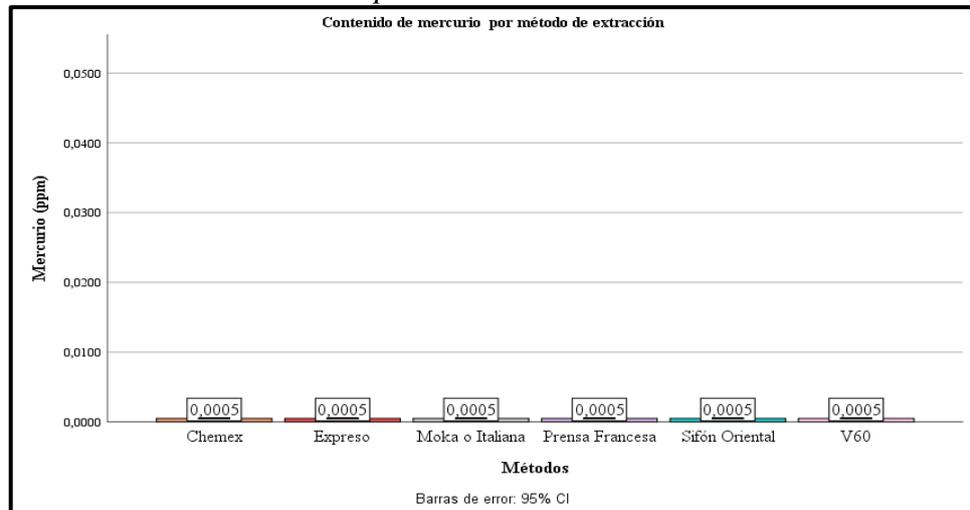
Letras diferentes indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95 % obtenido mediante Test de Tukey,  $p < 0.05$

### 3.5. Contenido de Mercurio

El contenido de mercurio por cada método de extracción en todos los métodos de extracción es menor al LD. (0.005 ppm) (Figura 11).

**Figura 11**

*Concentración de Mercurio por método de extracción*

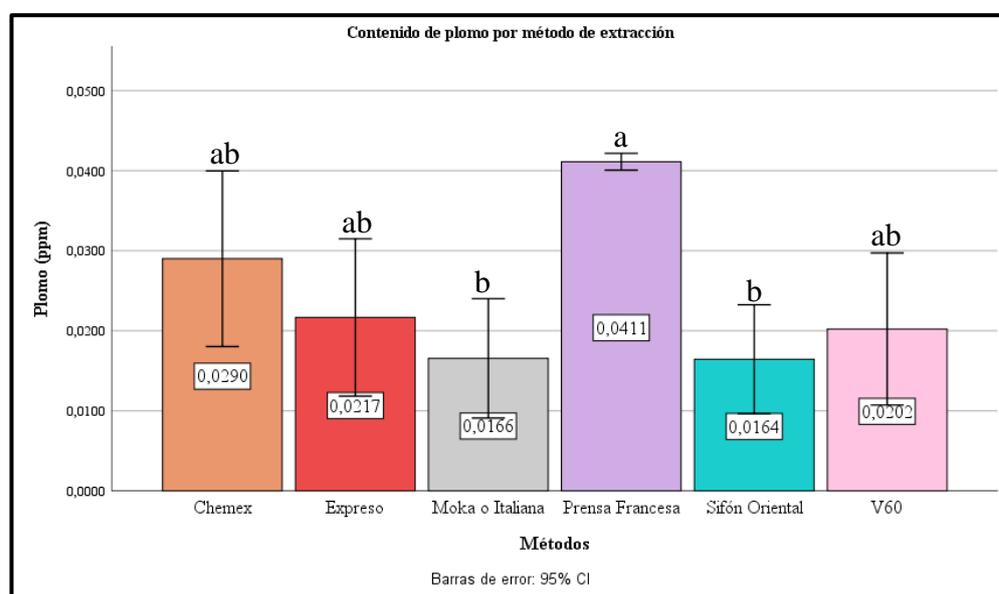


### 3.6. Contenido de Plomo

La Figura 12 muestra el contenido de plomo por cada método de extracción. La presencia de plomo oscila entre 0.164 a 0.360 ppm. Los resultados indican que hubo diferencias significativas en la concentración de plomo por los diversos métodos de extracción ( $F = 3.812$ ,  $p = 0,005$ ), donde el valor menor se presenta en el método de extracción Sifón Oriental, mientras que el valor mayor es del método de Prensa Francesa.

**Figura 12**

*Concentración de Plomo por método de extracción*



Letras diferentes indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95 % obtenido mediante Test de Tukey,  $p < 0.05$

### 3.7. Tostado Molienda por método de extracción de bebida de café

En la Tabla 3 se observa el contenido de metales pesados por tipo de extracción con diferente tueste y molienda. Los resultados indican que no hubo diferencias significativas en la concentración de metales pesados con diferente tueste (claro, medio y oscuro) y molido (fino, medio y grueso).

**Tabla 2***Contenido de metal pesado de acuerdo al tostado, molienda y método de extracción*

| Método          | Tueste | Molienda | Contenido de metales pesados (ppm) |        |        |        |        |
|-----------------|--------|----------|------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
|                 |        |          | As                                 | Cd     | Cr     | Hg     | Pb     |
| Expreso         | Claro  | Fino     | 0.0410                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0140 |
|                 | Claro  | Medio    | 0.0410                             | 0.0005 | 0.0020 | 0.0005 | 0.0160 |
|                 | Claro  | Grueso   | 0.0300                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0160 |
|                 | Medio  | Fino     | 0.0510                             | 0.0005 | 0.0020 | 0.0005 | 0.0410 |
|                 | Medio  | Medio    | 0.0410                             | 0.0005 | 0.0020 | 0.0005 | 0.0160 |
|                 | Medio  | Grueso   | 0.0370                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0160 |
|                 | Oscuro | Fino     | 0.0460                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0470 |
|                 | Oscuro | Medio    | 0.0430                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0150 |
|                 | Oscuro | Grueso   | 0.0420                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0140 |
| Chemex          | Claro  | Fino     | 0.0450                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0450 |
|                 | Claro  | Medio    | 0.0460                             | 0.0005 | 0.0090 | 0.0005 | 0.0380 |
|                 | Claro  | Grueso   | 0.0420                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0370 |
|                 | Medio  | Fino     | 0.0490                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0450 |
|                 | Medio  | Medio    | 0.0340                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0140 |
|                 | Medio  | Grueso   | 0.0420                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0390 |
|                 | Oscuro | Fino     | 0.0410                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0150 |
|                 | Oscuro | Medio    | 0.0360                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0140 |
|                 | Oscuro | Grueso   | 0.0340                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0140 |
| Sifón Oriental  | Claro  | Fino     | 0.0380                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0140 |
|                 | Claro  | Medio    | 0.0340                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0130 |
|                 | Claro  | Grueso   | 0.0330                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0130 |
|                 | Medio  | Fino     | 0.0440                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0140 |
|                 | Medio  | Medio    | 0.0440                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0400 |
|                 | Medio  | Grueso   | 0.0350                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0130 |
|                 | Oscuro | Fino     | 0.0350                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0140 |
|                 | Oscuro | Medio    | 0.0390                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0140 |
|                 | Oscuro | Grueso   | 0.0300                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0130 |
| V60             | Claro  | Fino     | 0.0400                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0140 |
|                 | Claro  | Medio    | 0.0360                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0140 |
|                 | Claro  | Grueso   | 0.0360                             | 0.0005 | 0.0020 | 0.0005 | 0.0140 |
|                 | Medio  | Fino     | 0.0430                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0140 |
|                 | Medio  | Medio    | 0.0440                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0430 |
|                 | Medio  | Grueso   | 0.0400                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0410 |
|                 | Oscuro | Fino     | 0.0380                             | 0.0005 | 0.0020 | 0.0005 | 0.0140 |
|                 | Oscuro | Medio    | 0.0390                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0140 |
|                 | Oscuro | Grueso   | 0.0390                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0140 |
| Moka o Italiana | Claro  | Fino     | 0.0360                             | 0.0005 | 0.0020 | 0.0005 | 0.0110 |
|                 | Claro  | Medio    | 0.0430                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0150 |
|                 | Claro  | Grueso   | 0.0370                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0160 |
|                 | Medio  | Fino     | 0.0400                             | 0.0005 | 0.0020 | 0.0005 | 0.0130 |
|                 | Medio  | Medio    | 0.0420                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0130 |
|                 | Medio  | Grueso   | 0.0540                             | 0.0005 | 0.0200 | 0.0005 | 0.0420 |
|                 | Oscuro | Fino     | 0.0440                             | 0.0005 | 0.0020 | 0.0005 | 0.0110 |
|                 | Oscuro | Medio    | 0.0400                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0150 |
|                 | Oscuro | Grueso   | 0.0470                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0130 |
| Prensa Francesa | Claro  | Fino     | 0.0440                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0430 |
|                 | Claro  | Medio    | 0.0430                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0410 |
|                 | Claro  | Grueso   | 0.0340                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0400 |
|                 | Medio  | Fino     | 0.0440                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0430 |
|                 | Medio  | Medio    | 0.0400                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0410 |
|                 | Medio  | Grueso   | 0.0370                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0410 |
|                 | Oscuro | Fino     | 0.0430                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0400 |
|                 | Oscuro | Medio    | 0.0430                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0420 |
|                 | Oscuro | Grueso   | 0.0400                             | 0.0005 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0390 |

#### IV. DISCUSIÓN

En el café oro se encontró diferentes concentraciones de metales pesados, en el caso del arsénico (0.0764 ppm), valor superior a los reportados por Şemen et al. (2017) quienes encontraron concentraciones menores al LD. a 0.02 ppm. En cadmio se encontró valores menores al LD. (0.0005 ppm) y menores en comparación a Grembecka et al. (2007), Şemen et al. (2017), Adler et al. (2019) quienes encontraron concentraciones entre 0.001 – 0.026 ppm; 0.015 ppm y menor a 0.003 mg/g respectivamente. La concentración de cromo fue (0.0822 ppm), así mismo Santato et al., (2012) encontraron concentraciones entre 0.0173 – 0.0872 ppm, mientras que Şemen et al. (2017) obtuvieron concentraciones menores al LD. (0.000006 - 0.002992 ppm). En mercurio la concentración fue menor al LD. (0.0005 ppm) al igual que los reportados por Şemen et al. (2017) quienes también encontraron valores menores al LD. (0.000001 – 0.001406 ppm) hasta 0.12 ppm. La concentración de plomo fue (0.3455 ppm) este valor fue mayor a los reportados por Grembecka et al. (2007), Şemen et al. (2017), Adler et al. (2019) quienes encontraron concentraciones menores a 1 ppm; 0.006 – 0.3 ppm y 0.076 ppm respectivamente.

En la bebida de café el contenido de arsénico por método de extracción no se encontró diferencia significativa, los valores estaban entre 0.0394 – 0.0426 ppm, estas concentraciones son valores medios en comparación a los reportados por Petrović et al., (2020) quienes evaluaron bebida de café expreso encontrando concentraciones de 1.3 ppm y menores a 0.00255 ppm.

El contenido de cadmio en la bebida fue menor al L. D (0.0005 ppm) al igual que en el café oro, esta concentración es menor a lo reportado por Adler et al. (2019) que evaluaron el café turco, preparada con 10g de café y 200 ml de agua con un tiempo de preparación de 5 min, encontrando concentraciones de 0.048 ppm.

La presencia de cromo en bebida de café oscila entre 0.0009 a 0.0034 ppm, en una investigación realizada por Nędzarek et al. (2013) evaluaron la concentración de metales en bebidas de café preparados con 1g de café y 27 ml de agua, los resultados oscilaron entre 0.09 a 0.47 ppm. Mientras que Teixeira et al. (2018) elaboraron la infusión con 12 g de café y 100ml de agua con agua calentaba a punto de ebullición (95 – 100 °C), encontrando una concentración menor a 0.025 ppm.

El contenido de mercurio tanto en café oro como en la bebida de café fue menor al LD. (0.0005 ppm), mientras Petrović et al. (2020), determinaron las concentraciones de mercurio en bebidas de café expreso, sin embargo encontraron cantidades por debajo del LD. (0.00063 ppm).

El contenido de plomo en la bebida de café osciló entre 0.164 a 0.360 ppm de acuerdo al tipo de extracción. Grembecka et al. (2007) utilizaron 6g de café con 150 ml de agua caliente para la preparación de la bebida, encontrando concentraciones menores al LD. (0.01 ppm), así mismo Winiarska et al. (2021) determinaron el contenido de plomo en la bebida de café preparada con 6g de café y 100ml de agua potable con temperatura de 95 - 100°C, con tiempo de preparación de 10 min, obtuvieron como resultado un rango de 0.0166 – 0.0800 ppm. Además Adler et al. (2019) encontraron 0.257 ppm, mientras que Nędzarek et al. (2013) evaluaron la concentración de metales en bebidas de café preparados con 1g de café y 27 ml de agua encontrando una concentración entre 0.615 – 1.239 ppm, estos valores son superiores a los reportados en esta investigación.

Si bien el contenido de cadmio tanto en café oro y en la bebida de café, fue menor al LD. sin embargo el plomo fue el segundo metal con mayor concentración, es por ello que se debe tener en cuenta que no existe límite para el consumo de estos metales, ya que según Winiarska et al. (2021) estos metales se van acumulando en nuestro cuerpo a través de los años.

Hasta el momento otros autores no se han determinado el contenido de metales pesados en sifón oriental, prensa francesa, filtro v60, filtro chemex y cafetera moka, pero si con expreso y los valores fueron, de acuerdo con Petrović et al (2020) As (0.00255 ppm), Hg menor al LD. (0.0063 ppm) y Pb menor al LD. (0.00178ppm), tanto Cd y Cr, no fueron evaluados por estos autores.

Según Belitz et al. (2012), la lixiviación es una operación unitaria que permite la extracción de los compuestos solidos a través de solventes líquidos. Para la elaboración de la bebida de café se utilizó la lixiviación por percolación que consiste en que el solvente caliente pasa por el sólido a extraer, en este caso el agua con temperatura de 83 °C (filtro V60 y chemex) y 92°C (expreso, sifón oriental, prensa francesa, y moka) y el café molido (fino, medio y grueso), respectivamente.

Winiarska et al. (2021), mencionan que hasta el 84% del Cd y el 82,6% del Pb pasan a la bebida de café, esto depende únicamente del método de preparación del café, por ejemplo, en el método turco, la cocción lixivia más minerales, incluidos elementos tóxicos (As, Cr, Hg), con excepción del Pb. El método turco es similar al método de extracción mediante cafetera moka (Figura 6), es por ello que en los resultados obtenidos hay mayor concentración de metales 0.0426 ppm de As y 0.0034 ppm de Cr. Lo contrario a esto sucede con adición de agua hirviendo, que en esta investigación se utilizó en los métodos de extracción con sifón oriental (0.0369 ppm As, 0.0010 ppm Cr y 0.0164 ppm de Pb) y prensa francesa 0.0399 ppm As, 0.0009 ppm Cr y presentó mayor contenido de Pb con 0.0360 ppm.

## V. CONCLUSIONES

El proceso de extracción del café con diferentes métodos (expreso, chemex, sifón oriental, V60, moka o italiana y prensa francesa) no tiene un efecto significativo en la concentración de arsénico y cromo. Sin embargo, si hubo diferencias significativas en la concentración de plomo por los diversos métodos de extracción, donde el valor menor se presenta en el método de extracción Sifón Oriental, mientras que el valor mayor en la Prensa Francesa.

El contenido de metales pesados en la bebida de café fue menor que en el grano de oro, esto debido a la lixiviación que de acuerdo con algunos autores pasan más metales cuando el solvente y el sólido pasan por un proceso de cocción, es por ello que de todos los métodos de extracción el que mayor concentración de metales pesados tenía la bebida elaborada con cafetera moka.

Así mismo, se evidenció que el nivel de tueste y molienda no influyen significativamente en la concentración de metales pesados en los diversos métodos de extracción.

## VI. 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. (2018). 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>
- Angeloni, G., Guerrini, L., Masella, P., Bellumori, M., Daluiso, S., Parenti, A., & Innocenti, M. (2019). What kind of coffee do you drink? An investigation on effects of eight different extraction methods. *Food Research International*, 116, 1327-1335. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.022>
- Angeloni, S., Mustafa, A. M., Abouelenein, D., Alessandrini, L., Acquaticci, L., Nzekoue, F. K., Petrelli, R., Sagratini, G., Vittori, S., Torregiani, E., & Caprioli, G. (2021). Characterization of the aroma profile and main key odorants of espresso coffee. *Molecules*, 26(13), 1–29. <https://doi.org/10.3390/molecules26133856>
- APHA AWWAWEF. (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater (L. L. Bridgewater, R. B. Baird, A. D. Eaton, & E. W. Rice, Eds.; 23rd edition). American Public Health Association.
- Belitz, H.-D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2012). *Química de los alimentos*. Editorial Acribia
- Caprioli, G., Cortese, M., Maggi, F., Minnetti, C., Odello, L., Sagratini, G., & Vittori, S. (2014). Quantification of caffeine, trigonelline and nicotinic acid in espresso coffee: The influence of espresso machines and coffee cultivars. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 65(4), 465–469. <https://doi.org/10.3109/09637486.2013.873890>
- Cordoba, N., Fernandez-Alduenda, M., Moreno, F. L., & Ruiz, Y. (2020). Coffee extraction: A review of parameters and their influence on the physicochemical

- characteristics and flavour of coffee brews. *Trends in Food Science and Technology*, 96(December 2019), 45–60. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.004>
- Cordoba, N., Pataquiva, L., Osorio, C., Moreno, F. L. M., & Ruiz, R. Y. (2019). Effect of grinding, extraction time and type of coffee on the physicochemical and flavour characteristics of cold brew coffee. *Scientific Reports*, 9(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44886-w>
- Corrochano, B. R., Melrose, J. R., Bentley, A. C., Fryer, P. J., & Bakalis, S. (2015). A new methodology to estimate the steady-state permeability of roast and ground coffee in packed beds. *Journal of Food Engineering*, 150, 106–116. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.11.006>
- de Figueiredo Tavares, M. P., & Mourad, A. L. (2020). Coffee beverage preparation by different methods from an environmental perspective. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 25(7), 1356–1367. <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01719-2>
- Grembecka, M., Malinowska, E., & Szefer, P. (2007). Differentiation of market coffee and its infusions in view of their mineral composition. *Science of The Total Environment*, 383(1), 59–69. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.04.031>
- Janda, K., Jakubczyk, K., Baranowska-Bosiacka, I., Kapczuk, P., Kochman, J., Rębacz-Maron, E., & Gutowska, I. (2020). Mineral composition and antioxidant potential of coffee beverages depending on the brewing method. *Foods*, 9(2). <https://doi.org/10.3390/foods9020121>
- Kim, S. Y., & Kang, B. S. (2018). A colorimetric sensor array-based classification of coffees. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 275(April), 277–283. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2018.08.058>
- Kotyczka, C., Boettler, U., Lang, R., Stiebitz, H., Bytof, G., Lantz, I., Hofmann, T., Marko, D., & Somoza, V. (2014). Dark roast coffee is more effective than light roast coffee in reducing body weight, and in restoring red blood cell vitamin E and glutathione concentrations in healthy volunteers. *Molecular Nutrition and Food Research*, 55(10), 1582–1586. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201100248>

- Kowalska, G. (2021). The safety assessment of toxic metals in commonly used herbs, spices, tea, and coffee in Poland. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(11). <https://doi.org/10.3390/ijerph18115779>
- Mestdagh, F., Glabasnia, A., & Giuliano, P. (2017). The Brew-Extracting for Excellence. *The Craft and Science of Coffee*, 355–380. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803520-7.00015-3>
- Moroney, K. M., Lee, W. T., O'Brien, S. B. G., Suijver, F., & Marra, J. (2015). Modelling of coffee extraction during brewing using multiscale methods: An experimentally validated model. *Chemical Engineering Science*, 137, 216–234. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2015.06.003>
- Muzykiewicz-Szymańska, A., Nowak, A., Wira, D., & Klimowicz, A. (2021). The Effect of Brewing Process Parameters on Antioxidant Activity and Caffeine Content in Infusions of Roasted and Unroasted Arabica Coffee Beans Originated from Different Countries. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 26(12). <https://doi.org/10.3390/molecules26123681>
- Navarini, L., Nobile, E., Pinto, F., Scheri, A., & Suggi-Liverani, F. (2009). Experimental investigation of steam pressure coffee extraction in a stove-top coffee maker. *Applied Thermal Engineering*, 29(5), 998–1004. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2008.05.014>
- Nedzarek, A., Tórz, A., Karakiewicz, B., Clark, J. S., Laszczyńska, M., Kaleta, A., & Adler, G. (2013). Concentrations of heavy metals (Mn, Co, Ni, Cr, Ag, Pb) in coffee. *Acta Biochimica Polonica*, 60(4), 623–627. [https://doi.org/10.18388/abp.2013\\_2031](https://doi.org/10.18388/abp.2013_2031)
- Petrović, S. M., Savić, S. R., Zvezdanović, J. B., Mladenović-Ranisavljević, I., Cvetković, D. J., & Cvetanović, A. D. (2020). Benefits and risks of commercially available coffee beverages from Western Balkan. *Chemical Papers*, 74(3), 847–857. <https://doi.org/10.1007/s11696-019-00916-5>
- Pigozzi, M. T., Passos, F. R., & Mendes, F. Q. (2018). Quality of Commercial Coffees: Heavy Metal and Ash Contents. *Journal of Food Quality*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/5908463>

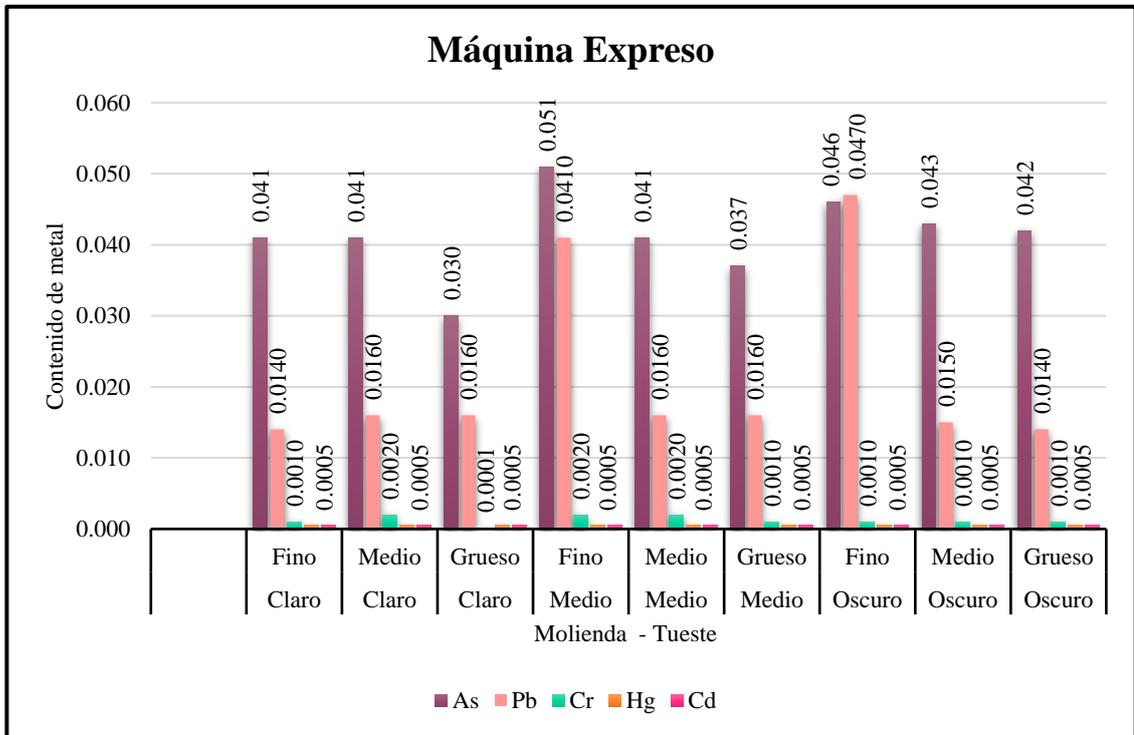
- Rao, N. Z., Fuller, M., & Grim, M. D. (2020). Physiochemical characteristics of hot and cold. brew coffee chemistry: The effects of roast level and brewing temperature on compound extraction. *Foods*, 9(7), 1–12. <https://doi.org/10.3390/foods9070902>
- Santato, A., Bertoldi, D., Perini, M., Camin, F., & Larcher, R. (2012). Using elemental profiles and stable isotopes to trace the origin of green coffee beans on the global market: ICP-MS and IRMS analysis to trace the coffee origin. *Journal of Mass Spectrometry*, 47(9), 1132-1140. <https://doi.org/10.1002/jms.3018>
- Sato, Y., Itagaki, S., Kurokawa, T., Ogura, J., Kobayashi, M., Hirano, T., Sugawara, M., & Iseki, K. (2011). In vitro and in vivo antioxidant properties of chlorogenic acid and caffeic acid. *International Journal of Pharmaceutics*, 403(1–2), 136–138. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2010.09.035>
- Şemen, S., Mercan, S., Yayla, M., & Açikkol, M. (2017). Elemental composition of green coffee and its contribution to dietary intake. *Food Chemistry*, 215, 92-100. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.176>
- Stanek, N., Zarebska, M., Biłos, Ł., Barabosz, K., Nowakowska-Bogdan, E., Semeniuk, I., Błaszczewicz, J., Kulesza, R., Matejuk, R., & Szkutnik, K. (2021). Influence of coffee brewing methods on the chromatographic and spectroscopic profiles, antioxidant and sensory properties. *Scientific Reports*, 11(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01001-2>
- Teixeira, M., Regina, F., & Queiroz, F. (2018). Quality of Commercial Coffees: Heavy Metal and Ash Contents. *Journal of Food Quality*, 2018, 1-7. <https://doi.org/10.1155/2018/5908463>
- Tripathy, V., Basak, B. B., Varghese, T. S., & Saha, A. (2015). Residues and contaminants in medicinal herbs - A review. *Phytochemistry Letters*, 14, 67–78. <https://doi.org/10.1016/j.phytol.2015.09.003>
- Wei, F., & Tanokura, M. (2015). Chemical Changes in the Components of Coffee Beans during Roasting. In *Coffee in Health and Disease Prevention*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00010-3>

- Winiarska-Mieczan, A., Kwiatkowska, K., Kwiecień, M., & Zaricka, E. (2021). Assessment of the risk of exposure to cadmium and lead as a result of the consumption of coffee infusions. *Biological Trace Element Research*, 199(6), 2420–2428. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02332-3>
- Yilmaz, P. K., Hacibekiroğlu, I., & Kolak, U. (2014). Effect of roasting on antioxidant and anticholinesterase capacities of coffee. *Journal of Food and Nutrition Research*, 53(3), 232–239.

**ANEXOS**

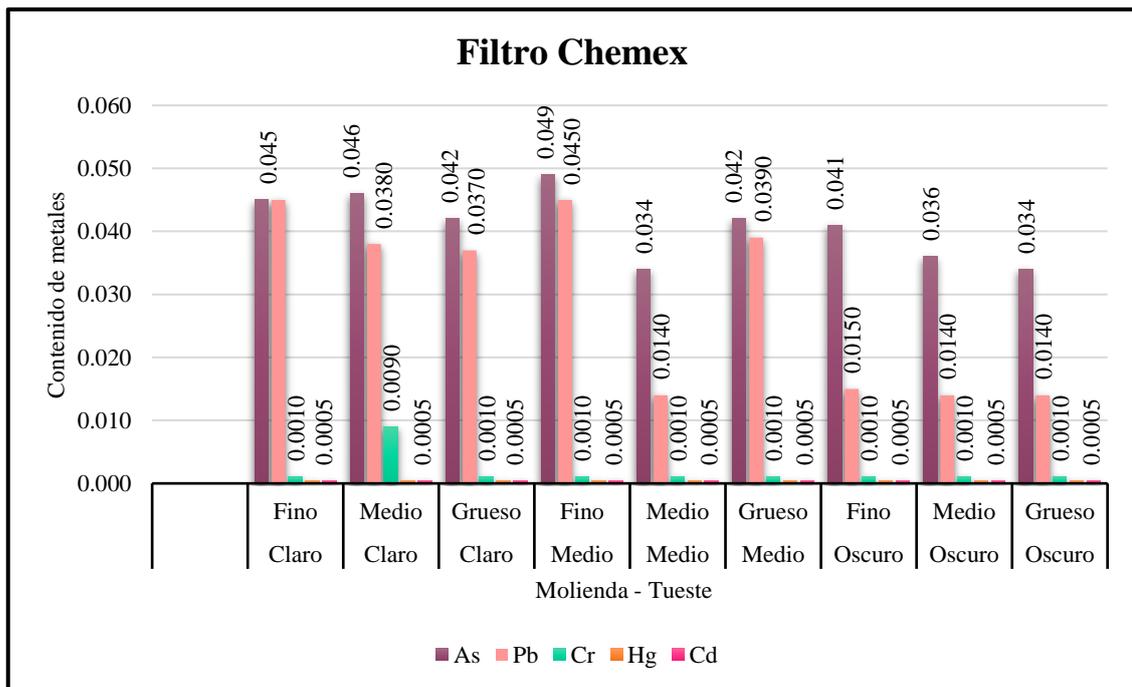
**Figura 13**

*Contenido de metal pesado de acuerdo al tueste y molienda en máquina expreso*



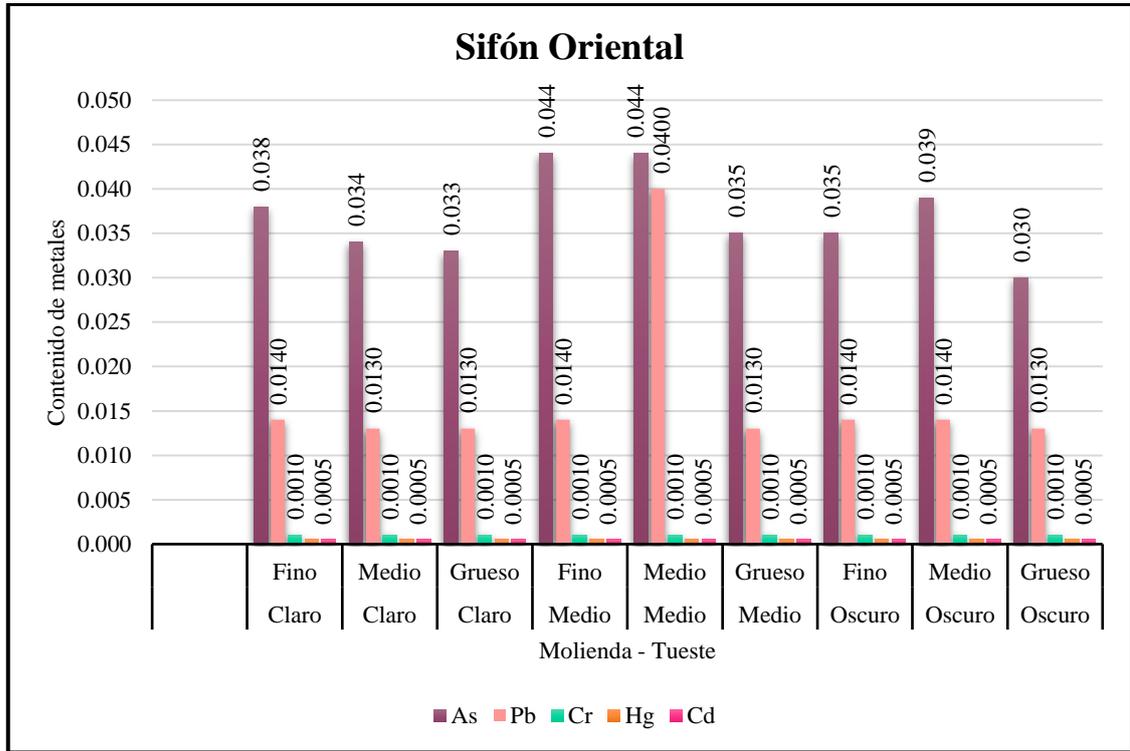
**Figura 14**

*Contenido de metal pesado de acuerdo al tueste y molienda en filtro chemex*



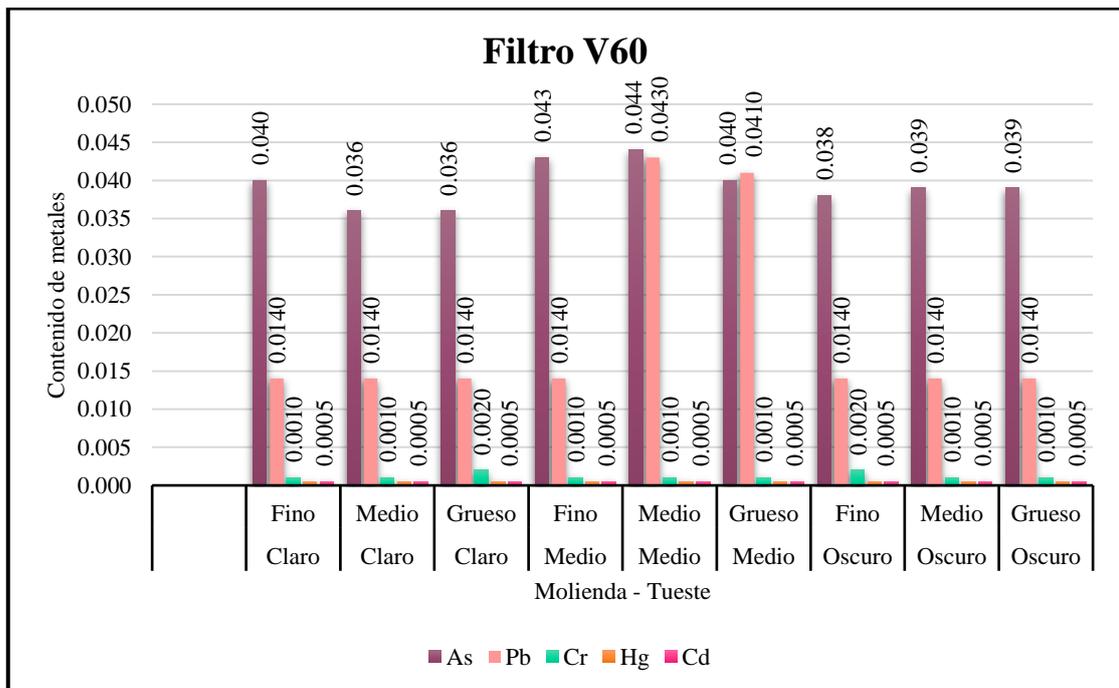
**Figura 15**

*Contenido de metal pesado de acuerdo al tueste y molienda en sifón oriental*



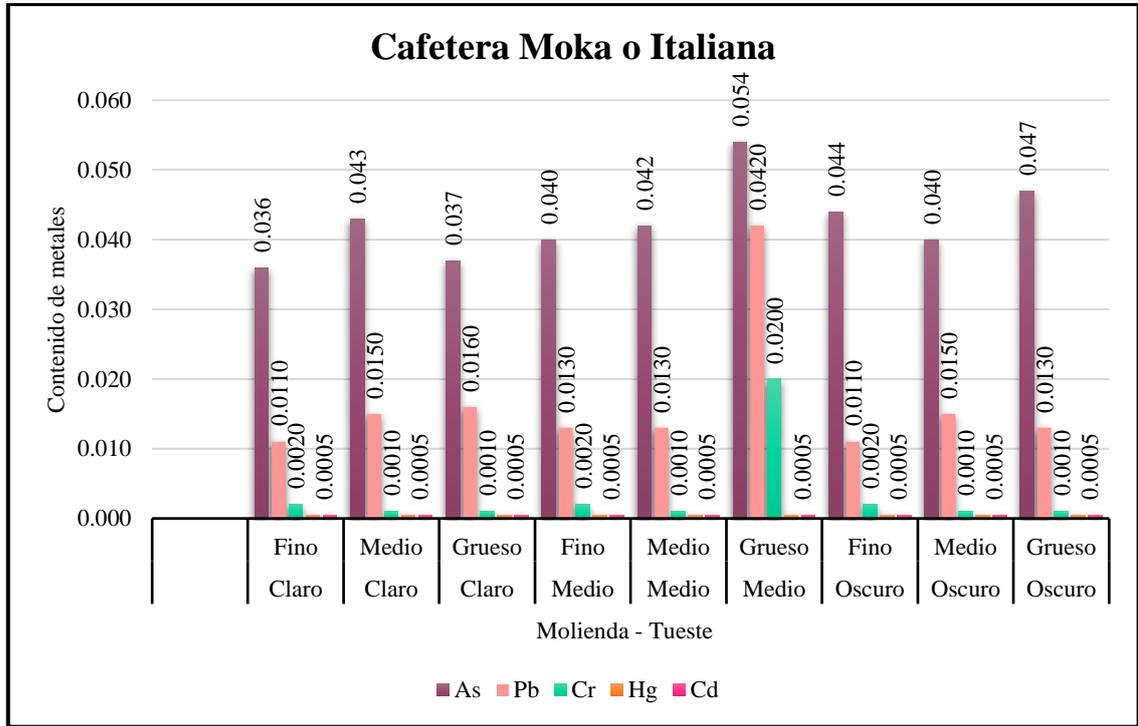
**Figura 16**

*Contenido de metal pesado de acuerdo al tueste y molienda en filtro V60*



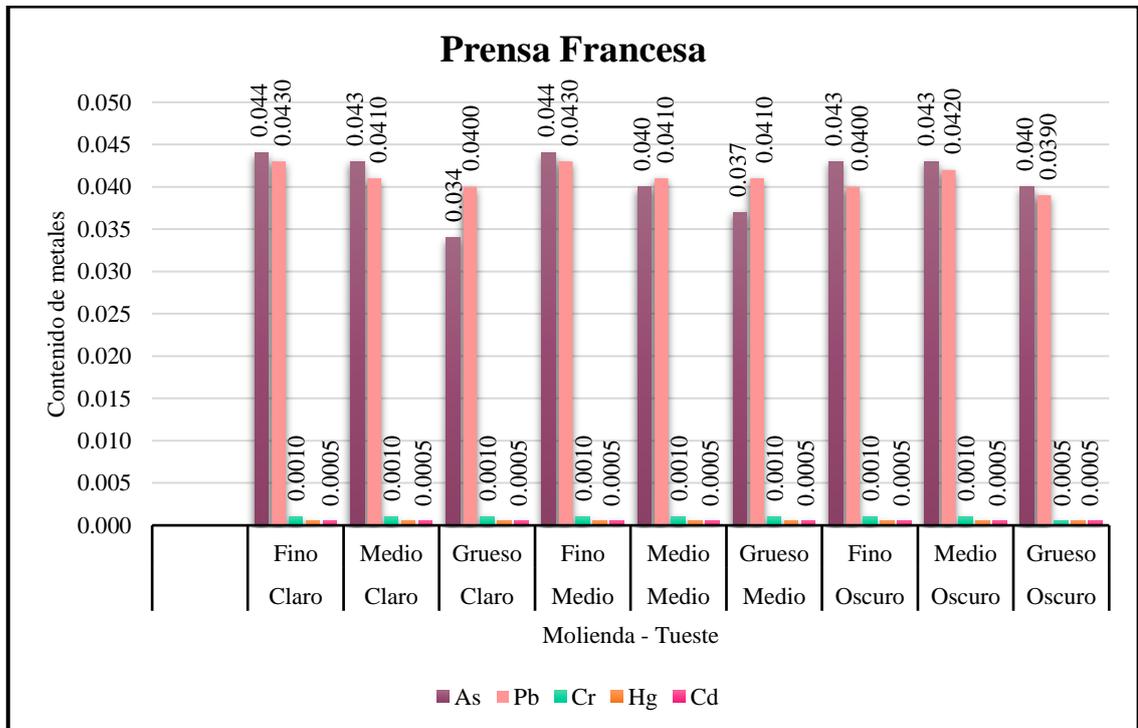
**Figura 17**

*Contenido de metal pesado de acuerdo al tueste y molienda en cafetera Moka o Italiana*



**Figura 18**

*Contenido de metal pesado de acuerdo al tueste y molienda en prensa francesa*



**Figura 19**

*Recepción de granos de café pergamino*



**Figura 20**

*Café oro*



**Figura 21**

*Tostado del café*



**Figura 22**

*Café con tostado claro (Agron 85)*



**Figura 23**

*Café con tostado medio (Agtron 65)*



**Figura 24**

*Café con tostado medio (Agtron 35)*



**Figura 25**

*Molienda del café*



**Figura 26**

*Molienda fina, media y gruesa de café con diferente tueste*



**Figura 27**

*Preparación de bebida de café en máquina expreso*



**Figura 28**

*Preparación de bebida de café en cafetera Moka o Italiana*



**Figura 29**

*Preparación de bebida de café en filtro V60*



**Figura 30**

*Preparación de bebida de café en filtro Chemex*

